TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 217 - DEZEMBRO - 1951

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMÉRCIO, 56, 3.º
LISBOA

Desde o
Distrito de **VIANA DO CASTELO**
ao de **LEIRIA** e nos Distritos
de **SETÚBAL** e **EVORA** as

FÁBRICAS
CIDADES
VILAS e
ALDEIAS portuguesas

são abastecidas de

ELECTRICIDADE

para

FORÇA MOTRIZ E TODOS OS USOS INDUSTRIAIS, LUZ, ETC., a TARIFAS MUITO VANTAJOSAS e com as **maiores facilidades**,

pela

UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA

e produzidas nas CENTRAIS:

Thérmica do FREIXO	22.000 CV
Hidráulica do LINDOSO...	100.000 CV
Thérmica da CACHOFARRA...	14.000 CV

Os Escritórios da UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA são:

NO PORTO Rua Duque de Loulé, 240
EM LISBOA R. António Maria Cardoso, 13, 2.º

CIMENTO TEJO

FÁBRICA EM ALHANDRA

A instalação mais moderna do País. Dois fornos rotativos em laboração. — O "CIMENTO TEJO" marca pelas suas altas resistências e regularidade, garantidas pela fiscalização contínua de todas as fases do fabrico, exercida por técnicos portugueses especializados.

Pedidos à Companhia "CIMENTO TEJO"

SEDE EM LISBOA
RUA DA VITÓRIA, 88, 2.º

FILIAL NO NORTE
AV. DOS ALIADOS, 20, 3.º
PORTO

NÚMERO
217
Dezembro — 1951

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N./ TEL. 70144 (linha 50)

DIRECTOR
MANUEL AGUDO MARQUES MAIA

ADMINISTRADOR
MANUEL ALVES MARQUES

CORPO REDACTORIAL
JOSÉ AUGUSTO DO NASCIMENTO
CARLOS LLOYD BRAGA
MANUEL DE VILHENA PERES MONIZ
SILVÉRIO ANTUNES COELHO

NUMERO AVULSO 11$00

ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhás	27$50	50$00	95$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	55$00	100$00

EDITOR E PROPRIETARIO
ASS. DOS ESTUD. DO I. S. T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.DA
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Guindaste construído para o Porto de Lisboa pelas casas L. Dargent, Ltd.a e Metalúrgica Duarte Ferreira

Págs.

Os factores de rendimento
Pelo Prof. Eng.º Luís A. de Almeida Alves 133

VIII Exposição de Fotografia do I. S. T. 138

Nomogramas representando algumas expressões da mecânica dos solos
Pelo Eng.º Fernando Vasco Costa 139

Dimensionamento experimental das estruturas
Por Manuel Rocha 143

A Nossa Capa 164

Lei de distribuição estatística das variáveis hidrológicas
Por Mário Fontoura e Silvério Coelho 165

Método de Schwarzenbach para a determinação da dureza das águas
Pelo Prof. J. Carrell Morris 179

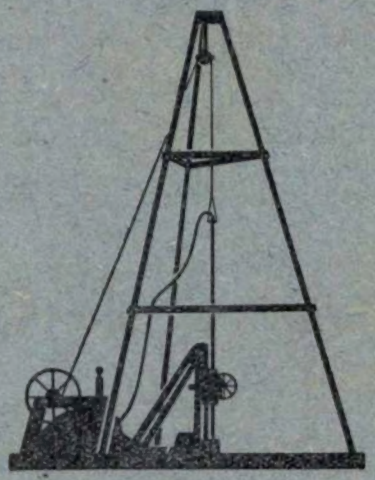
Vida Escolar e Associativa 183

Do Mundo Técnico 185

Biblioteca 191

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

SONDAGENS RODIO, Limitada



RODIO

Sondagens geológicas, estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geotécnico

Pesquisas de água.

Consolidação e impermeabilização de terrenos e de obras por meio de injecções de cimento, produtos químicos, argila activada, emulsão betuminosa Shellperm, etc.

Estacas de betão armado, sistema **Ródio** moldadas no solo sem trepidações.

Rebocos comprimidos por «**cement gun**»

Fundações em terrenos difíceis quer por congelação artificial, quer por abaixamento do lençol de água.

As melhores referências no país e no estrangeiro

Sócio gerente residente em Portugal:
Walter Weyermann, Eng. civil

R. S. Mamede ao Caldas, 22, 3.º — LISBOA

Tel. 2 8685

CIMENTOS PORTLAND BRANCOS

PATAIAS **LUSO**

Bons entre os melhores

PARA ACABAMENTOS

PEDRA ARTIFICIAL E MOSAICOS

TRABALHOS MARÍTIMOS

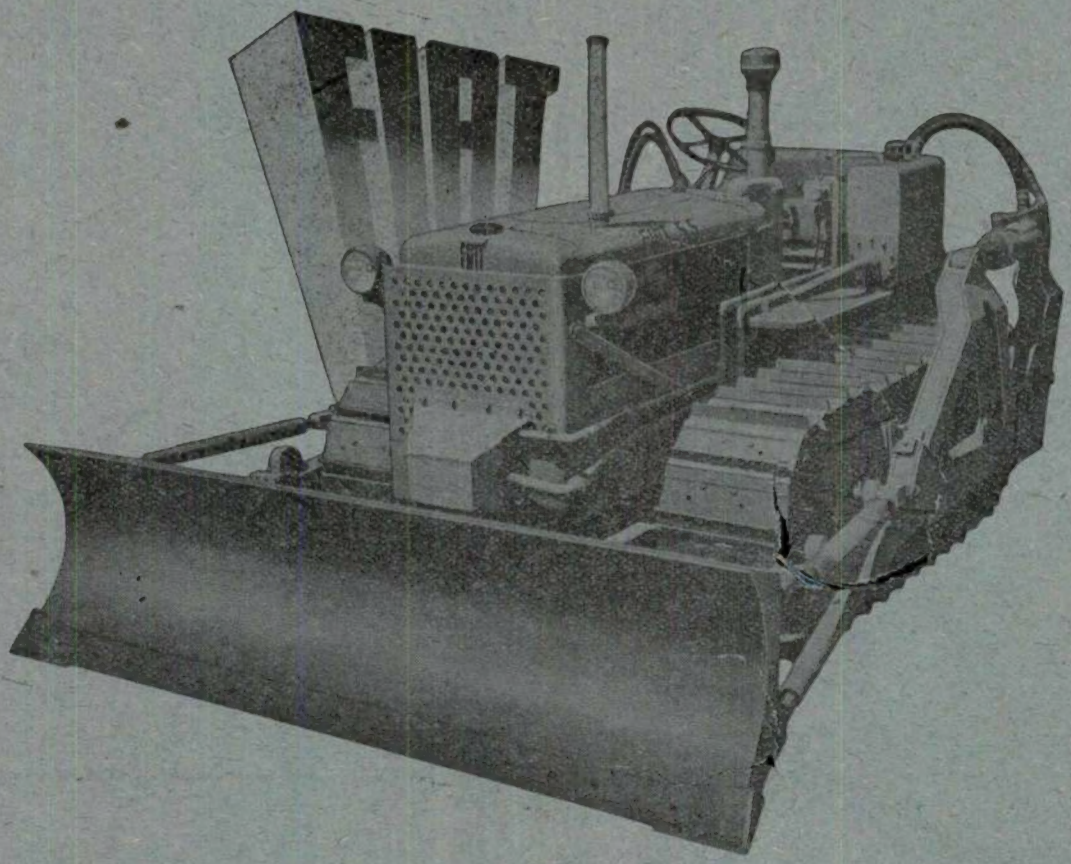
PISTAS E FAIXAS DE ROLAGEM

OBRAS DE RESPONSABILIDADE

Rua Vitor Cordon 1, 2.º — LISBOA

TELEFONES 30765/2 linhas

MATERIAL DE MOVIMENTAÇÃO DE TERRAS



— TRACTORES **"FIAT"** E **"VENDER"** DE **50** A **120** HP

— BUUDOZERS

— SCRAPERS

— RIPPERS

— CILINDROS PÉS-DE-CARNEIRO

CONSULTE:

MONTEIRO GOMES, LIMITADA

Rua Cascais, 47 (Alcântara) — LISBOA

Telef. 37083

PORTO ——————————— **LUANDA**

AMSLER

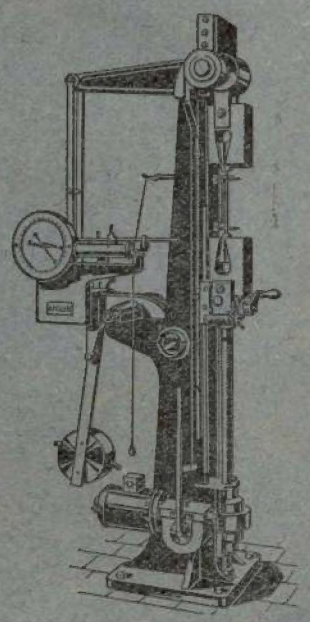
MÁQUINAS PARA ENSAIO DE MATERIAIS
APARELHOS HIDROMÉTRICOS, PLANÍMETROS, ETC.

PRECISÃO **ROBUSTEZ**

COMPROVADAS POR MUITAS CENTENAS DE DISPOSITIVOS

e Máquinas de ensaio, para a fabricação e para a construção, espalhados por todo o mundo. Experiência quase centenária

Máquinas de tracção e compressão
» » flexão e torção
» » dureza e fadiga
» » choque (martelos pendulares)
Dinamómetros hidráulicos
Aparelhos para aferir manómetros
Dinamómetros de torção para potências
Prensas para ensaios de cimentos
Máquinas para ensaio de madeiras e materiais de construção
Vagões-dinamómetros
Molinetes e Limnígrafos
Planímetros. Integradores



Máquina de tracção de 5000 kg

CATÁLOGOS E LISTA DOS COMPRADORES PORTUGUESES À DISPOSIÇÃO DOS INTERESSADOS

Representantes exclusivos para Portugal e Colónias:

PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA
R. EUGÉNIO DOS SANTOS, 75 TELEF. 24314/15 LISBOA

AMSLER
SCHAFFHOUSE

COMPANHIA PORTUGUESA DE FORNOS ELÉCTRICOS

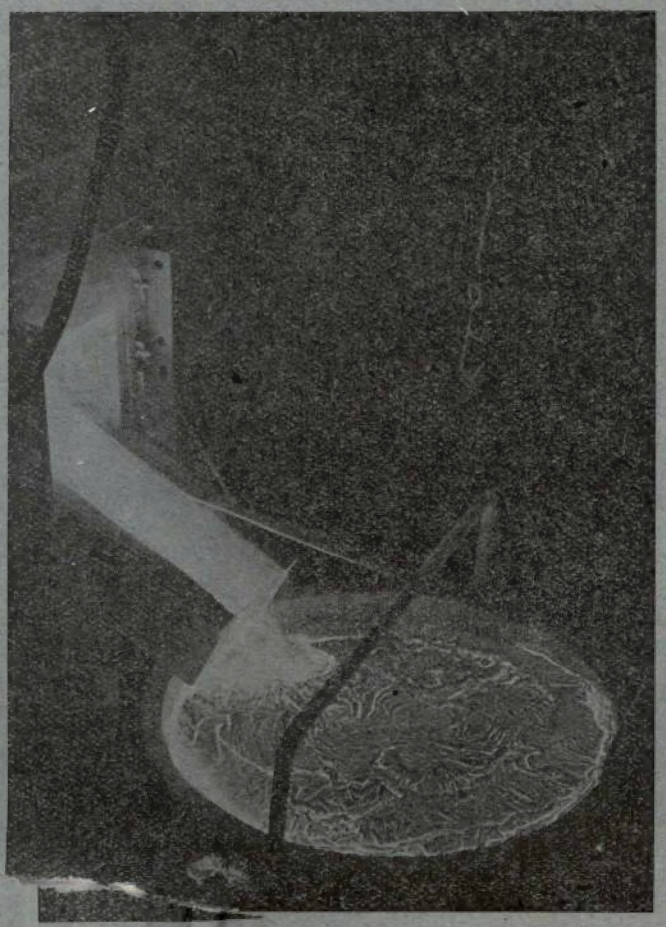
S. A. R. L.

FÁBRICA DE CARBONETO DE CÁLCIO E FERRO-LIGAS

Carboneto de Cálcio, Ferro, Ferro-Silício, Ferro-Manganês e Estanho

FÁBRICA DE CIANAMIDA CÁLCICA

(Em construção)



Instalações Fabris

Canas de Senhorim

Telef. 67222

Sede — Lisboa

Largo do Directório, 4, 2.º

Telef. 25343

Studebaker 1951

CHAMPION

O modelo de 6 cilindros americano que se impõe.

LAND CRUISER

O mais confortável, luxuoso e económico modelo de 8 cilindros em V com VÁLVULAS NA CABEÇA.

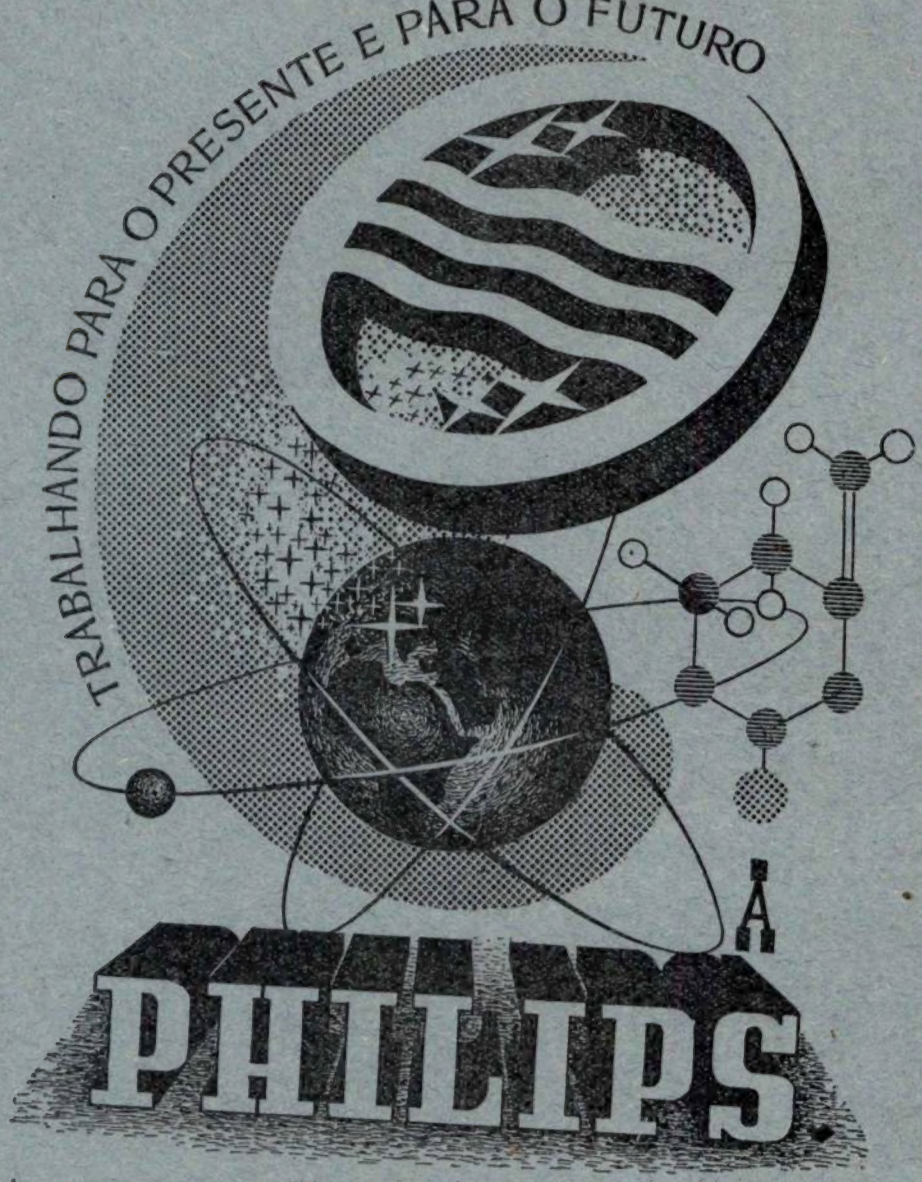
CAIXA DE VELOCIDADES AUTOMÁTICA — A MAIS SUAVE E SEGURA DE TODAS, COM UM «CONVERSOR DE BINÁRIO» HIDRÁULICO EXCLUSIVO DA **STUDEBAKER**

REPRESENTANTES:

C. SANTOS LDA.

PORTO LISBOA COIMBRA

60 ANOS DE PROGRESSO



LÂMPADAS DE ILUMINAÇÃO NORMAIS E ESPECIAIS — LÂMPADAS DE SÓDIO E MERCÚRIO — LÂMPADAS FLUORESCENTES — RECEPTORES E EMISSORES DE T. S. F. — VÁLVULAS DE EMISSÃO E RECEPÇÃO — INSTALAÇÕES AMPLIFICADORAS DE SOM — CINE SONORO — RAIOS X (APARELHAGEM CLÍNICA E INDUSTRIAL) — SOLDADURA ELÉCTRICA: RECTIFICADORES E ELECTRODOS — RECTIFICADORES PARA CARGA DE BATERIAS — FILTROS MAGNÉTICOS PARA ÓLEOS.

Instalações completas de Relógios Eléctricos com ou sem sinalização. Máxima precisão

Relógios-Mãe, Relógios secundários para interior e exterior, Relógios de ponto, Etc..

Representante geral: BORSARI & MEIER S. A. — Zurich, Suissa

Pedidos de orçamentos ao seu agente para Portugal Continental e Ultramarino

J. A. BENITO GARCIA

RUA DA MADALENA, 46, 2.º — LISBOA ✦ Telef. 22948 / 27338

RELÓGIOS DE CONTROLE PARA TODOS OS FINS

Utilizáveis em

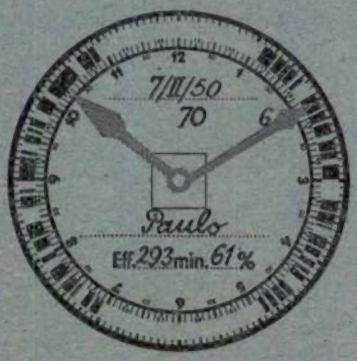
- Veículos de carga
- autocarros
- máquinas de todos os tipos
- tractores
- serviço de ronda
- locomotivas
- serviços públicos

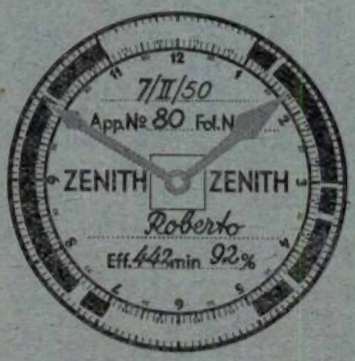
Etc.

Algumas vantagens:

Maior rendimento pelo perfeito controle — análise dos processos de trabalho — segurança nos cálculos de preços de custo — exactidão nas desvalorizações de máquinas e veiculos.

SEM controle Zenith: - 61 % (4 h 56 m) de trabalho útil numa jornada de 8 horas.





COM controle Zenith: - 92 % (7 h 17 m) de rendimento para o mesmo trabalho em 8 horas.

FABRIQUES DES MONTRES ZENITH — LE LOCLE (SUISSE)

Dott. Ing. Mário, Giuseppe

BRAIBANTI

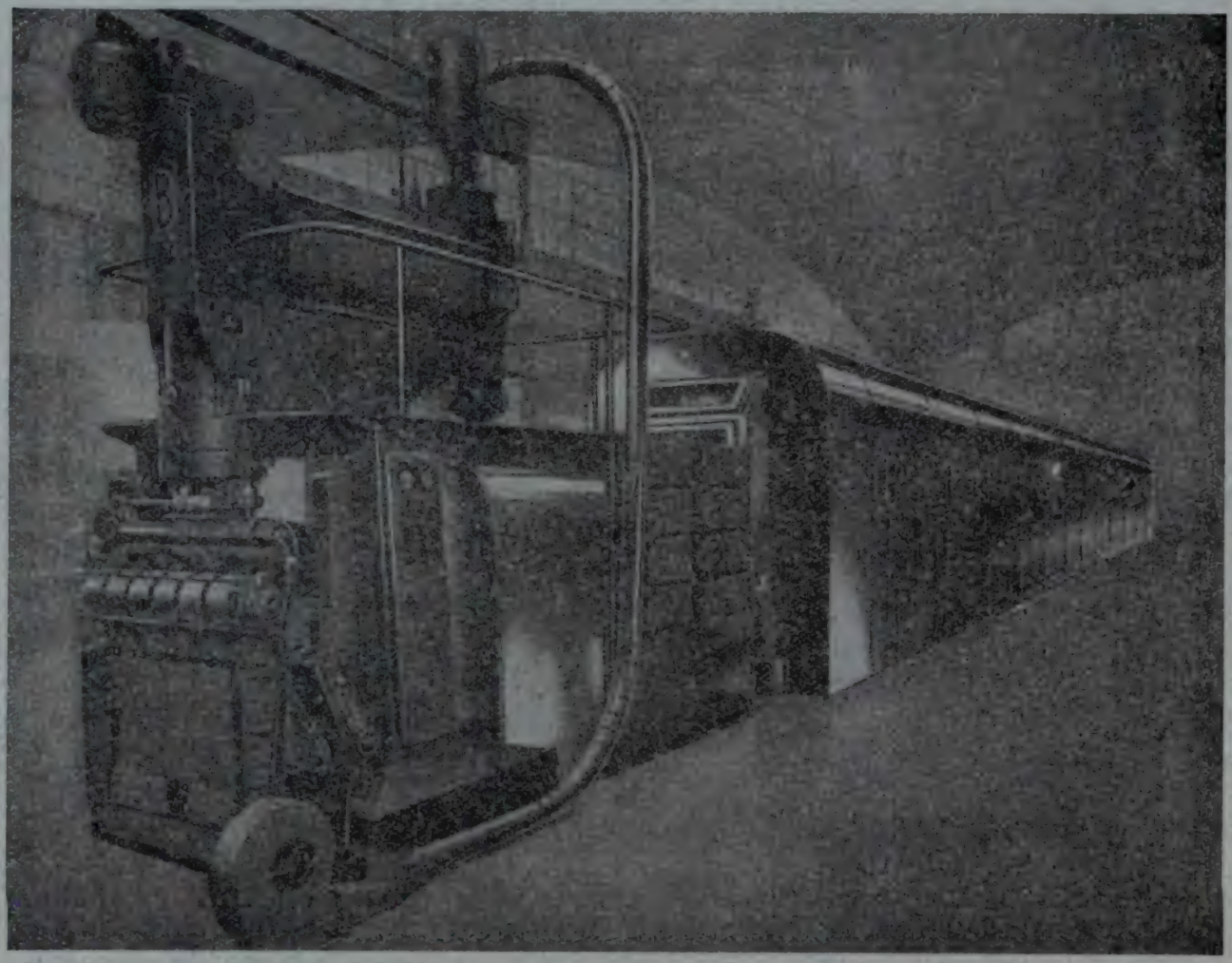
& C. Soc. R. L.

MILANO — Via Borgogna, 1 (ang. Piazza S. Babila) Tel. 79.23.93 — 79.23.94

Máquinas para fábricas de massas (alimentícias)

Instalações completas automáticas — Secadoras

ÚLTIMA CRIAÇÃO «BRAIBANTI»



Instalação automática para estender a massa e enrolamento, e secagem da massa comprida

Alfa Romeo

CAMPEÃO DO MUNDO

APRESENTA

A NOVA SÉRIE DOS SEUS PRODUTOS

1900

Berlina normal
Coupé C. Touring
Cabriolet C. Pinin Farina
Cabriolet L. Stab Farina

2500

Flecha de ouro
Berlina Pinin Farina
Grande turismo (3 Carb.)
Cabriolet touring

RECORDA

Os camiões tipo 450 e 900 de média e grande carga.
Os autocarros 450 a e 900 a para serviços turísticos, os troley-bus, motores de aviação, marítimos e industriais, grupo electrogéneos, os perfilados e asas de ligas leves.

ALFA ROMEO
Direcção e escritórios:
MILÃO — RUA M. U. TRAIANO, 33

PNEUS PIRELLI

LEACOCK (LISBOA), L.DA

AV. 24 DE JULHO, 16 — LISBOA

R. JOSÉ FALCÃO, 185 — PORTO

SECÇÃO DE MÁQUINAS E ELECTRICIDADE

REPRESENTANTES DE:

THE RAWLPLUG COMPANY, LTD.
Material de fixação para construção civil e mecânica.

HOOVER, LTD.
Motores eléctricos desde 1/8 até 3/4 H. P., Monofásicos e Trifásicos.

VERITYS, LTD.
Motores eléctricos desde 1 até 125 H. P.

J. A. CRABTREE & CO. LTD.
Material para instalações de luz: interruptores, fichas, tomadas, etc.
Material para instalações de força: arrancadores, disjuntores, caixas, etc.

TRANSFORMERS & WELDERS, LTD.
Transformadores de todos os tipos até à potência de 3000 K. V. A. e até à tensão de 33000 Volts.

BARTON CONDUITS, LTD.
Tubo de aço para instalações eléctricas.

EDWARD MAC BEAN & CO. LTD.
Tubo, fita e pano de tela envernizada.

MEASURING INSTRUMENTS (PULLIN), LTD.
Amperímetros, Voltímetros, Frequencímetros, Wattímetros de todos os tipos e escalas.

F. PERKINS, LTD.
Motores Diesel marítimos.

THE AUTOMATIC COIL WINDER AND ELECTRICAL EQUIPMENT CO, LTD.
Osciladores, capacímetros, texts universais, texts electrónicos, analisadores de válvulas, luxímetros, expositores para fotografias.
Máquinas para bobinar e enfitar.

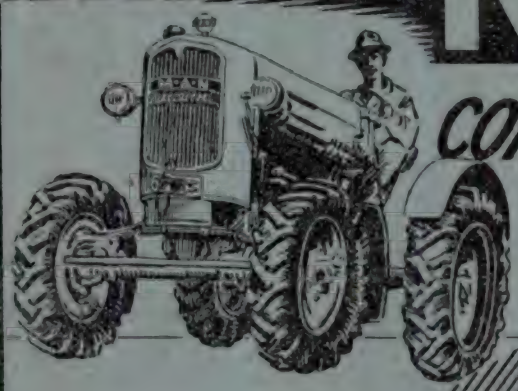
GEORGE KENT
Contadores de água, de vapor e de óleo.
Tubos Venturi
Determinadores e controladores do pH, do CO_2 e pirómetros pelo processo potenciométrico.
Combustiómetros, manómetros, registadores de distâncias, medidores-registadores de caudais, medidores de orifícios em condutas para gases.

THORN ELECTRICAL INDUSTRIES, LTD.
Luz fluorescente e rádios.

ELECTRIC PANELS, LTD.
Aquecimento eléctrico.

Chegou finalmente!

O TRACTOR M·A·N



COM TRACÇÃO

ÀS 4 RODAS

O ÚNICO QUE REUNE AS VANTAGENS DOS TRACTORES DE PNEUS E DOS DE RASTO CONTÍNUO

EM EXPOSIÇÃO NO STAND DOS REPRESENTANTES EXCLUSIVOS:

SMEIA

SOCIEDADE DE MECANIZAÇÃO INDUSTRIAL E AGRÍCOLA S.A.R.L.
AV. A. (À PRAÇA DO AREEIRO) 8-B
LISBOA — TELEF.: 7 8153/4/5

PEÇA INFORMAÇÕES DETALHADAS E EXPERIMENTE-O NAS CONDIÇÕES EM QUE UM VULGAR TRACTOR DE RODAS NÃO SATISFAÇA

Curoni

L. M. ERICSSON

STOCKHOLM SUÉCIA

- INSTALAÇÕES TELEFÓNICAS DE TODOS OS SISTEMAS
- SISTEMAS TELEFÓNICOS POR ALTA FREQUÊNCIA
- SISTEMAS DE SINALIZAÇÃO
- INSTALAÇÕES DE VIGILANCIA E DE CONTROLE A DISTANCIA
- SISTEMAS DE RADIOCOMUNICAÇÕES E SONORIZAÇÃO, RECEPTORES
- INSTRUMENTOS DE MEDIDA E CONTADORES ELÉCTRICOS
- PRENSAS HIDRÁULICAS E MÁQUINAS PARA ENSAIO DE MATERIAIS
- CONDENSADORES PARA CORRIGIR O FACTOR DE POTÊNCIA
- MOTORES ELÉCTRICOS
- DIVERSA APARELHAGEM TELEFÓNICA E ELÉCTRICA
- FIOS E CABOS TELEFÓNICOS E ELÉCTRICOS

Agentes Gerais em Portugal:

SOCIEDADE HERRMANN L.DA

Calçada do Lavra, 6 — LISBOA

Telefones { **2 3168** / **2 3169** } **Telegramas: LAVRA**

Oficina de construção e reparação de material telefónico e eléctrico

SOCIEDADE INDUSTRIAL METALURGICA

Responsabilidade Limitada

(REGISTADO)

SERRALHARIAS,

CALDEIRARIA,

FERRARIA,

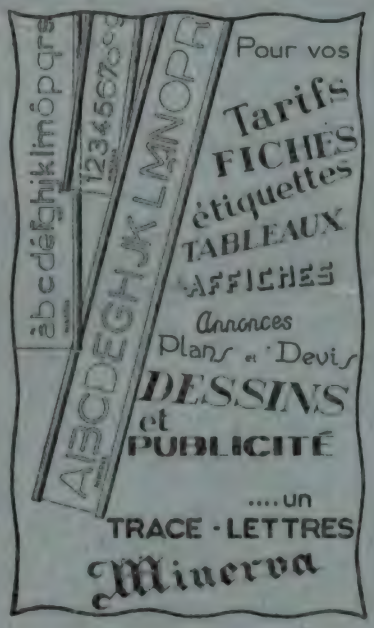
FUNDIÇÕES

ESCRITÓRIO

Rua de S. Tiago, 13

LISBOA

Telefone 26572



CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, LIMITADA

PRAÇA DO MUNICÍPIO, 13, 3.º — LISBOA — Telefone 2 2344

Execução de estacas moldadas no terreno para fundação de um Silo Parabólico da C. U. Fabril, no Barreiro

FUNDAÇÕES

BETÃO ARMADO

OBRAS PÚBLICAS

OERLIKON

Máquinas e aparelhos eléctricos de todo o género

Representante Geral para Portugal e Colónias

P. BELLASI

Porto // Rua Sá da Bandeira, 494, 3.° // Telefone 21968

«Central hidroeléctrica de Flix da S. A. Saltos del Ebro, Barcelona, equipada com 4 alternadores trifásicos OERLIKON, de 11250 kVA, 6300 V., 125 r. p. m., 50 Hz, cada um»

PRODUTOS OERLIKON

Equipamentos eléctricos completos para centrais termo e hidroeléctricas, subestações e instalações de distribuição. Accionamentos eléctricos especiais para todas as indústrias. Geradores, motores, transformadores, reguladores de indução, comutadores, rectificadores de vapor de mercúrio, equipamentos para soldadura eléctrica por arco. Electrolizadores para a produção de hidrogénio e oxigénio. Aparelhos de manobra e protecção para alta e baixa tensão, reguladores automáticos de tensão, relés, pára-raios. Turbinas de vapor e turbo-geradores, ponte-gruas, compressores. Equipamentos eléctricos para locomotivas, automotoras, veículos diesel-eléctricos, locomotivas de acumuladores, tranvias, troleibus, funiculares e teleféricos, etc.

ATELIERS DE CONSTRUCTION OERLIKON

ZURICH-OERLIKON (SUIÇA)

TÉCNICA

MANUEL AGUDO MARQUES MAIA
DIRECTOR

ANO XXVI-N.° 217 DEZEMBRO 1951

OS FACTORES DE RENDIMENTO

PELO ENG.° QUÍMICO-INDUSTRIAL LUÍS A. DE ALMEIDA ALVES
Professor do I. S. T.

C. D. 331.87:338.97

Em 21 de Junho deste ano, publicou «Le Figaro» um artigo de fundo com o título «Productivité et Niveau de Vie», de autoria de André Siegfried da Academia Francesa, do qual se transcreve o seguinte:

. . . . . .

«Le thème essentiel des entretiens de Royaumont [1] peut se résumer en cette thèse qu'une amélioration permanente et générale du niveau de vie ne peut être obtenue que par un accroissement de la productivité. On confond trop souvent, disions — nous, production et productivité. Quand, dans la bataille du charbon ou du blé, on a réalisé quelque record s'exprimant en millions de tonnes ou de quintaux, le véritable problème n'a pas été pour cela résolu. Ce qui importe c'est d'avoir atteint le résultat dans des conditions qui, diminuant le prix de revient, permettent de diminuer corrélativement le prix de vente, c'est-à-dire d'accroître le pouvoir d'achat donc le niveau de vie de chacun. Il n'y a même que là de progrès social véritable, car toutes les fois que ce progrès technique est réalisé, c'est la richesse générale qui s'accroît d'autant».

. . . . . .

«L'importance du facteur humain surtout du concours humain, n'est pas moindre. Une production efficace n'est pas seulement le fait de la direction, mais du personnel tout entier. Dans un pays comme la France, quand l'ouvrier s'intéresse à son travail, son rendement s'accroît d'autant. Il faut aussi qu'il soit intéressé, qu'il ait conscience d'une solidarité entre l'employé et l'entreprise. Aux États-Unis, nombreux sont les syndicats ouvriers qui, ayant pris conscience de cette solidarité, sont les premiers à inciter la direction au progrès technique».

. . . . . .

Este artigo, embora muito bem escrito não apresenta intrìnsecamente nenhum problema novo, mas teve para mim o interesse de ser publicado pouco tempo depois de eu ter *sentido* «in loco» o significado da produtividade americana e reflectido bastante sobre as causas reais que a determinam.

Fundamentalmente o artigo define o tipo de relação funcional existente entre a produtividade e o nível de vida, mas não faz referência (nem é esse o seu objectivo) às impo-

---

[1] Local em que se realizou a Conferência Internacional dos Problemas Sociais da Organização do Trabalho.

sições do meio que condicionam o problema da produtividade, nem aos factores que intervêm na sua resolução; mas, em última análise, é o estudo destes dois aspectos que permite estabelecer, para cada país, o valor óptimo da produtividade, em função das condições económicas existentes. O primeiro destes aspectos é um problema local, directamente relacionado com os recursos agrícolas, com a abundância das matérias primas e com o grau de industrialização de cada país; o seu estudo tem como objectivo, portanto, a determinação de limites superiores, independentemente das realizações num dado momento e da trajectória a seguir. O segundo aspecto, pelo contrário, tem principalmente um carácter de generalidade e de orientação e, por isso, as conclusões a que pode conduzir são adaptáveis, de um modo geral, a quaisquer condições económicas particulares. É sob este último aspecto que nos interessa considerar o problema e por esta razão, este artigo vai incidir sobre os factores da produtividade, os quais, por uma questão de generalidade maior, serão designados por *factores de rendimento.*

*

Comecemos por introduzir um conceito de rendimento do trabalho humano que seja susceptível de se apresentar com uma utilidade directa na estruturação do problema que se vai estudar.

Numa primeira fase, o rendimento pode ser definido, como num motor eléctrico, pela relação entre a energia fornecida e a energia recebida; a analogia não é absolutamente perfeita mas as diferenças existentes em nada diminuem a generalidade das conclusões. Admitindo como valores esquemáticos, um consumo diário pelo organismo humano de 3 500 calorias e uma aplicação de 1 500, o valor desse rendimento seria de cerca de 40 %; todavia, este número não tem o menor interesse, visto que não é possível actuar de modo nenhum nas necessidades energéticas das diferentes funções orgânicas.

Numa segunda fase, pode definir-se o rendimento como a relação entre o trabalho útil realizado e o trabalho total de aplicação de que é possível dispor; mas esta definição só poderá ter um interesse real, se o valor destes trabalhos vier a ser apreciado numa base numérica que permita tirar algumas conclusões.

Exprimindo o valor de 1 500 calorias distribuídas por 16 horas, em unidades mecânicas, obtém-se um resultado aproximado de 100 watts, o que representa, em média, o valor máximo com que se pode contar; e, admitindo agora que o rendimento assim definido pode atingir o valor de 100 %, determina-se imediatamente o preço mínimo da energia fornecida pelo organismo humano. Na base de um salário de 3$50 por hora, o preço mínimo do KwH seria de 35$00, e aumentaria progressivamente na razão directa dos salários. Se compararmos agora este valor com os preços usuais do KwH mecânico (entre $20 e 1$00), podemos ser levados, em primeira aproximação, à conclusão seguinte:

O trabalho humano é muito mais caro do que o trabalho da máquina e por isso, deverá ser substituído sempre que haja possibilidade de o fazer.

O problema não é, porém, tão simples, por duas razões:

1) O preço de exploração só pode ser completamente determinado entrando em linha de conta, com as despesas inerentes ao capital (amortização, conservação e reparações), as quais no caso da avaliação do trabalho humano, podem ser representadas pela reforma, pela assistência médica e pelos seguros contra acidentes e doença.

2) O preço de exploração de uma máquina não se pode exprimir só em função da

sua potência, porque há que contar com o valor enormemente variável da aparelhagem que essa máquina pode accionar [1].

É descabido, neste pequeno ensaio, tentar analisar quantitativamente a questão mas, mesmo sob um aspecto puramente qualitativo é possível estabelecer como directriz geral que, à medida que aumenta o preço da mão de obra e os encargos de ordem social, e diminui o preço da aparelhagem com o aperfeiçoamento do progresso técnico, maiores vão sendo as desvantagens do trabalho humano em confronto com as possibilidades mecânicas.

A organização americana «Materials Handling Society» levou a efeito no princípio de Maio deste ano, em Chicago, uma série de conferências sobre Transporte de Materiais, nas quais os problemas de mão de obra e de mecanização foram largamente debatidos. Numa dessas conferências, com o título de «Redução do Custo de Transporte», Jack O'Abney, superintendente da secção de Métodos e Standards da Fábrica Chevrolet (General Motors Corporation) disse o seguinte:

. . . . . .

«Cada homem que se acrescenta à lista das organizações representa um certo aumento nas despesas gerais. Muitas destas despesas são exigidas por lei ou pela política e práticas correntes das companhias e por isso, não podem ser reduzidas ou eliminadas senão utilizando menos pessoal. Muitas destas verbas designam-se por «Despesas Fixas» tais como impostos, seguros, reformas, etc. Além destas despesas fixas, há a considerar despesas gerais para cada operário tais como ferramentas, lâmpadas, assistência médica, etc. É de esperar que todas as reduções em mão de obra representem um decréscimo proporcional nestas despesas gerais».

. . . . . .

Como consequência destas considerações pode substituir-se a conclusão anterior por outra mais exacta que se pode formular nos seguintes termos:

À medida que o nível de vida vai aumentando, maior é o valor que toma a relação entre o preço da energia humana e o preço de exploração da aparelhagem mecânica.

Nestas condições, uma definição de rendimento baseada no conceito de máximo aproveitamento mecânico da energia humana vai tendo uma importância progressivamente decrescente, visto que essa relação tem sempre tendência a aumentar.

Aparece-nos portanto, uma terceira forma de definir o rendimento de trabalho humano, avaliando-o não directamente, mas em função da possibilidade de aproveitamento máximo dos tipos de energia de preço inferior. Uma definição deste tipo tem ainda a vantagem de permitir estabelecer uma hierarquia racional nas formas de energia humana, sujeita em linhas gerais, a um escalonamento regular na posição relativa, do qual resulta a possibilidade de estudar de uma maneira sucessiva, os diferentes graus de complexidade funcional da estrutura do trabalho moderno. Dentro deste espírito, podem assim definir-se três categorias de energia de preços sucessivamente crescentes [2]:

1) Energia puramente mecânica
2) Energia de execução [3]
3) Energia de acção [3]

---

[1] Como exemplos típicos, podem citar-se os casos de um transportador de correia e de um moinho Raymond.

[2] Admitindo que no estado actual do progresso técnico, o preço de exploração do motor mecânico é sempre inferior ao do motor humano.

[3] Estes conceitos já foram introduzidos no artigo «O Domínio de Actividade da Química Moderna» («Técnica», Março de 1951).

Mas sendo assim, a definição de rendimento não pode ser uniforme e terá de ser considerada em relação a cada um dos tipos de energia que se considera, dentre os quais, se elimina naturalmente, o caso da energia mecânica, por corresponder a uma noção excessivamente vulgar e conhecida.

*

É em relação ao rendimento de execução que se aplica com maior rigor a designação de produtividade que se referiu atrás. Neste caso, o rendimento, pode ser definido como o grau de aproveitamento dos meios mecânicos à disposição. Para atingir um rendimento elevado é necessário conjugar a *perfeição* com a *velocidade* de execução, o que exige, como consequência, *especialização* e *interesse*. Ainda sob este aspecto, é útil citar um trecho de outra conferência do programa de Chicago com o título «Mão de Obra e Aparelhagem», proferida por Peter Lanham Jr., Director da «Lanham Hardwood Floor Corporation» de Louisville:

. . . . . .

«É necessário, portanto, analisar cuidadosamente a mão de obra a utilizar porque, além das qualidades de especialização, é preciso encontrar operários de inteligência normal, ambição e entusiasmo, no sentido de atingir posições de maiores responsabilidades e de melhores remunerações. Ele é fundamentalmente, o tipo de mão de obra que se deve procurar».

. . . . . .

O problema da perfeição é resolvido à custa da aprendizagem e da prática. A velocidade de execução depende, em primeiro lugar, do grau de especialização que se possui; em segundo lugar, da noção pessoal de aproveitamento do tempo, utilizando o melhor possível os recursos das máquinas, reduzindo racionalmente os movimentos inúteis e diminuindo conscientemente os períodos de paragem por maior cuidado e menores reparações; em terceiro lugar, finalmente, das modificações introduzidas, quer nas características das máquinas quer nas condições do seu funcionamento. Os dois primeiros factores estão intìmamente ligados à pessoa que executa; o último, àparte casos acidentais, excede o âmbito executivo e passa ao grau mais complexo dos problemas de acção.

De qualquer maneira porém, o conceito de velocidade tem um significado indirecto, porque não implica necessàriamente que se trabalhe a correr; o que interessa é que a execução do trabalho seja orientada de modo tal que a capacidade produtiva das máquinas seja utilizada o mais completamente possível. Por outro lado, o conceito de perfeição tem um significado absoluto, isto é, não pode ser definido em função de velocidade de execução. Nestas condições, velocidade e perfeição são variáveis independentes e por consequência, todo o problema de execução se traduz na preparação profissional indispensável à utilização máxima das máquinas para o tipo de trabalho para que foram construídas.

*

A análise do rendimento de acção pode ser conduzida por analogia com a do rendimento de execução, definindo-o como o grau de aproveitamento dos agentes de execução existentes. No entanto, a semelhança é apenas aparente, porque o agente de execução é autónomo uma vez integrado numa determinada solução. Por este motivo um rendimento elevado, significa, em primeiro lugar, *velocidade* elevada para atingir *uma* solução; em segundo lugar, *aperfeiçoamento* dessa solução.

É este o aspecto mais delicado do problema do rendimento, quando se pretende estudar sob um ponto de vista prático, o comportamento da energia de acção e por isso, não é inoportuno procurar nos fenómenos correntes, uma imagem concreta que o torne mais claro e mais sugestivo. Quando, na Indústria Química, se tem de realizar uma reacção

exotérmica equilibrada, por catálise de contacto, há por vezes, necessidade de utilizar dois convertidores em série. O primeiro, trabalhando a altas temperaturas e em condições muito afastadas do equilíbrio, permite atingir grandes velocidades, embora com conversões pouco completas; o segundo, actuando numa zona próxima do equilíbrio dá origem a velocidades menores, mas efectua a parte final da conversão [1]. Cada um dos convertidores tem a sua função definida, mas não seria possível obter um bom rendimento económico no segundo se o primeiro não existisse. Por outras palavras, a *perfeição* obtida no segundo só é possível ràpidamente, devido à *velocidade* da reacção no primeiro.

Os conceitos de velocidade e de perfeição aparecem assim, até certo ponto, como antagónicos, mas na realidade eles são simplesmente *complementares* e sujeitos a uma *ordem* definida, que não pode ser alterada sem diminuição de rendimento; trata-se portanto, de duas variáveis ligadas entre si de certa maneira e cujos valores óptimos correspondem a um caso de estacionaridade condicionada, entrando em consideração com o tempo disponível e com o mínimo de perfeição a que é necessário satisfazer. A fixação deste mínimo está implícita na própria essência do trabalho em velocidade, o qual, como já se fez notar [2], tem de abranger «os esquemas mais simples na generalidade, mas que representem sínteses racionais com o máximo de valor de orientação». Quando se pretende percorrer o caminho mais curto entre dois pontos, há que saber em primeiro lugar, determinar a geodésica que por eles passa; a linha recta é em geral uma utopia porque a resolução de um problema envolve sempre a consideração dos pormenores fundamentais que o delimitam.

A determinação desta geodésica aparece assim em última análise, como condição «sine qua non» do aperfeiçoamento rápido das soluções e constitui portanto o núcleo central do problema do rendimento de acção.

*

As considerações anteriores conduziram por um caminho simples e racional a uma conclusão que, em si mesmo, é ilógica: a definição de *trabalho,* baseado numa noção de *velocidade.* A conclusão não é errada por se ter demonstrado que, a partir de determinadas condições de mecanização, o rendimento se deve procurar no aproveitamento do tempo e não na utilização da energia. O problema só se apresentará em moldes diferentes, se a natureza do trabalho ou o atrazo da industrialização, obrigar a um esforço físico elevado, para o qual seja necessário avaliar o trabalho humano numa base energética, de que resulte uma noção de rendimento de um tipo totalmente diferente.

Não se fará, no entanto, a análise deste problema, por ter interessado sòmente considerar o caso em que a máquina pode ter uma acção preponderante.

---

[1] Por exemplo, na oxidação do anidrido sulfuroso por contacto e na reacção do óxido de carbono com água (indústria do amoníaco sintético).

[2] «O Conceito de Equilíbrio na Preparação Científico-Técnica», («Técnica», Abril de 1950).

VIII EXPOSIÇÃO DE FOTOGRAFIA DO I. S. T.

A Secção Fotográfica da A. E. I. S. T. realiza em Maio a VIII Exposição de Fotografia. Pretendendo como é óbvio, melhorar sob todos os aspectos essa organização, tentar-se-á aumentar o número de concorrentes e prémios e tornar definitivo o regulamento que para a Exposição deste ano foi elaborado. Para um maior número de expositores é indispensável que todos, Professores, Engenheiros e Colegas se não inibam de apresentar os seus trabalhos, contribuindo para o desenvolvimento da Fotografia no nosso meio universitário, como Arte, Ciência e Técnica.

Pensa ainda a Secção Fotográfica dirigir convite a estudantes estrangeiros para que, com a sua colaboração, contribuam para o sucesso que esperamos obter na Exposição deste ano.

Instituir-se-á este ano o troféu A. E. I. S. T. cuja distribuição obedecerá ao regulamento a seguir apresentado.

Como habitualmente a Secção Fotográfica aceitará com o maior prazer a cedência de dispositivos coloridos com montagem de 5×5, garantindo o máximo cuidado na sua manipulação.

Deve, ainda, a A. E. I. S. T. um agradecimento a todas as entidades individuais e colectivas que de qualquer modo contribuiram para o brilhantismo dos certames anteriores e espera que essa contribuição não seja interrompida, antes aumentada, na Exposição que terá lugar este ano.

REGULAMENTO

Art. 1.º — Poderão concorrer a este certame os professores e alunos de Universidades portuguesas e estrangeiras, e os engenheiros portugueses inscritos na respectiva ordem.

Art. 2.º — Os concorrentes poderão apresentar quaisquer trabalhos, inéditos ou não, excluindo-se todos aqueles que tenham figurado em anteriores exposições do I. S. T.

§ 1.º — Estes trabalhos poderão ser dos géneros «Artístico» e «Documental».
Entende-se por «Fotografia Documental» aquela que se destina a algum fim de documentação, estudo ou investigação, em qualquer ramo de actividades.

§ 2.º — Os trabalhos apresentados poderão ser coloridos ou «virados» por qualquer processo técnico, com excepção apenas dos coloridos à mão.

Art. 3.º — As provas devem ser apresentadas sobre cartão branco, com margem não inferior a 5 cm, e sem qualquer moldura.

§ 1.º — Os formatos mínimos admitidos são de 13×18 e 18×18.

§ 2.º — No verso da montagem deve vir mencionado o título e género do trabalho e o pseudónimo do concorrente.

Art. 4.º — Cada concorrente pagará uma taxa fixa de inscrição (que será de 5$00 para os estudantes sócios da A. E. I. S. T., e de 10$00 para os restantes concorrentes) independentemente do número de trabalhos que apresentar.

§ único — Encontram-se dispensados do pagamento de inscrição os concorrentes estrangeiros.

Art. 5.º — Os trabalhos serão entregues na Secção Fotográfica da A. E. I. S. T., acompanhados da taxa de inscrição e de um sobrescrito fechado, no interior do qual o concorrente escreverá o seu nome e morada, pseudónimo e profissão, e, se estudante, a Escola a que pertence.

§ 1.º — Haverá o máximo cuidado com as provas recebidas, mas não se assume qualquer responsabilidade por eventuais danos.

§ 2.º — O prazo de entrega termina em 28 de Abril de 1952.

Art. 6.º — O júri de classificação, de cuja decisão não haverá recurso, será constituído por um professor do I. S. T., na qualidade de Presidente, e por mais quatro pessoas de reconhecida competência.

§ único — Este júri classificará os trabalhos sob anonimato, mas de modo que a nenhum concorrente caibam mais de dois prémios em cada género. Poderá distribuir indiscriminadamente menções honrosas.

Art. 7.º — Encerrada a Exposição, os trabalhos não premiados ficam na Secção Fotográfica, à disposição dos seus autores, durante seis meses; passado este período ficarão pertença da A. E. I. S. T.

§ 1.º — Os trabalhos premiados ficarão a pertencer à A. E. I. S. T.

§ 2.º — À A.E.I.S.T. reservam-se todos os direitos de reprodução de qualquer trabalho concorrente.

§ 3.º — Aos concorrentes não residentes em Lisboa ser-lhe-ão devolvidas as fotografias contra reembolso.

Art. 8.º — Cabe à Comissão Organizadora a admissão ou rejeição de trabalhos, bem como a resolução do que for omisso neste regulamento.

Art. 9.º — A partir da VIII Exposição, é instituído o «Troféu A. E. I. S. T.» que será atribuído ao fim de 10 exposições, à Associação Académica que mais pontos tenha somado do modo indicado nos parágrafos seguintes.

§ 1.º — Em cada Exposição o júri escolherá, entre os trabalhos de género «Artístico» apresentados por estudantes, o que melhor possa contribuir para a difusão e enaltecimento dos ideais que norteiam as associações académicas; ao seu autor será atribuída uma taça miniatura do Troféu.

§ 2.º — Para este efeito a direcção da A. E. I. S. T. enviará um seu delegado, que fará parte do júri.

§ 3.º — À Associação Académica a que pertence o possuidor da taça miniatura será contado um ponto.

§ 4.º — Decorridas 10 Exposições, o troféu caberá à Associação que mais pontos contar; em caso de empate o júri de ocasião decidirá, com base nos trabalhos que tenham provocado esse empate, mas então sem a presença do delegado da A. E. I. S. T.

Art. 10.º — Àparte o Troféu A. E. I. S. T., haverá, em cada género, uma série de prémios a estabelecer todos os anos pela Comissão Organizadora.

* * *

Oportunamente se anunciará na Imprensa diária a abertura da Exposição, a constituição do Júri e a lista dos prémios.

Entretanto, todos os esclarecimentos serão prestados pelo telefone 7 0144, linha 60 (Secção Fotográfica da A. E. I. S. T.), todos os dias úteis das 11 às 13 horas.

Lisboa, Dezembro 1951.

A Comissão Organizadora

Nomogramas representando algumas expressões da mecânica dos solos

POR FERNANDO VASCO COSTA

Assistente do I. S. T.

C. D. 624.131.431 (084.21)

1—Ao estudarem-se terrenos na Mecânica dos Solos é necessário resolver com frequência equações que relacionam entre si algumas características dos solos.

Os dois nomogramas que agora se apresentam destinam-se a facilitar a resolução de algumas dessas equações, e a permitir a quem trabalhe em Mecânica dos Solos o familiarizar-se com as relações existentes entre as referidas características.

2—Os nomogramas destinam-se apenas a ser utilizados por quem conheça as noções fundamentais da Mecânica dos Solos. No entanto, e com vista a facilitar o seu emprego por quem não adopte as designações e os símbolos preconizados por Terzaghi [1], pareceu conveniente indicar aqui as definições das grandezas representadas nas escalas dos nomogramas.

São elas:

Porosidade:

$$n = \frac{\text{volume de vazios}}{\text{volume total}} \quad \text{(exprime-se em percentagem)}$$

Indice de vazios:

$$e = \frac{\text{volume de vazios}}{\text{volume de particulas sólidas}}$$

Teor de humidade:

$$w = \frac{\text{peso da água contida no solo}}{\text{peso do solo seco em estufa}} \quad \text{(exprime-se em percentagem)}$$

Grau de saturação:

$$S = \frac{\text{volume de água contida no solo}}{\text{volume dos vazios do solo}} \quad \text{(exprime-se em percentagem)}$$

Peso específico aparente húmido (baridade natural):

$$\gamma = \frac{\text{peso duma dada porção do solo}}{\text{volume ocupado por essa porção}}$$

Peso específico aparente seco:

γ_d = peso específico do solo depois de substituída a sua água por ar

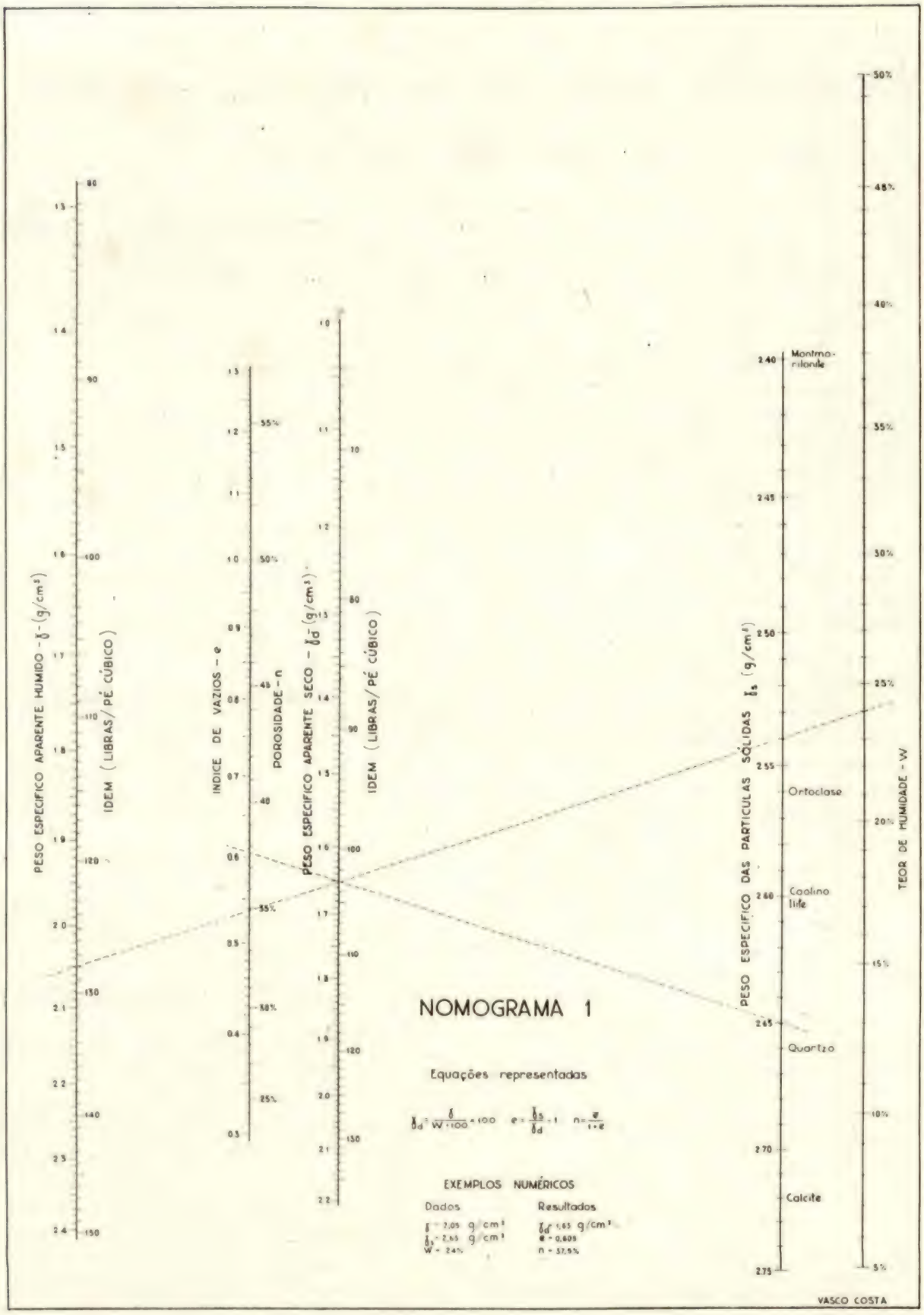
Peso específico das partículas sólidas:

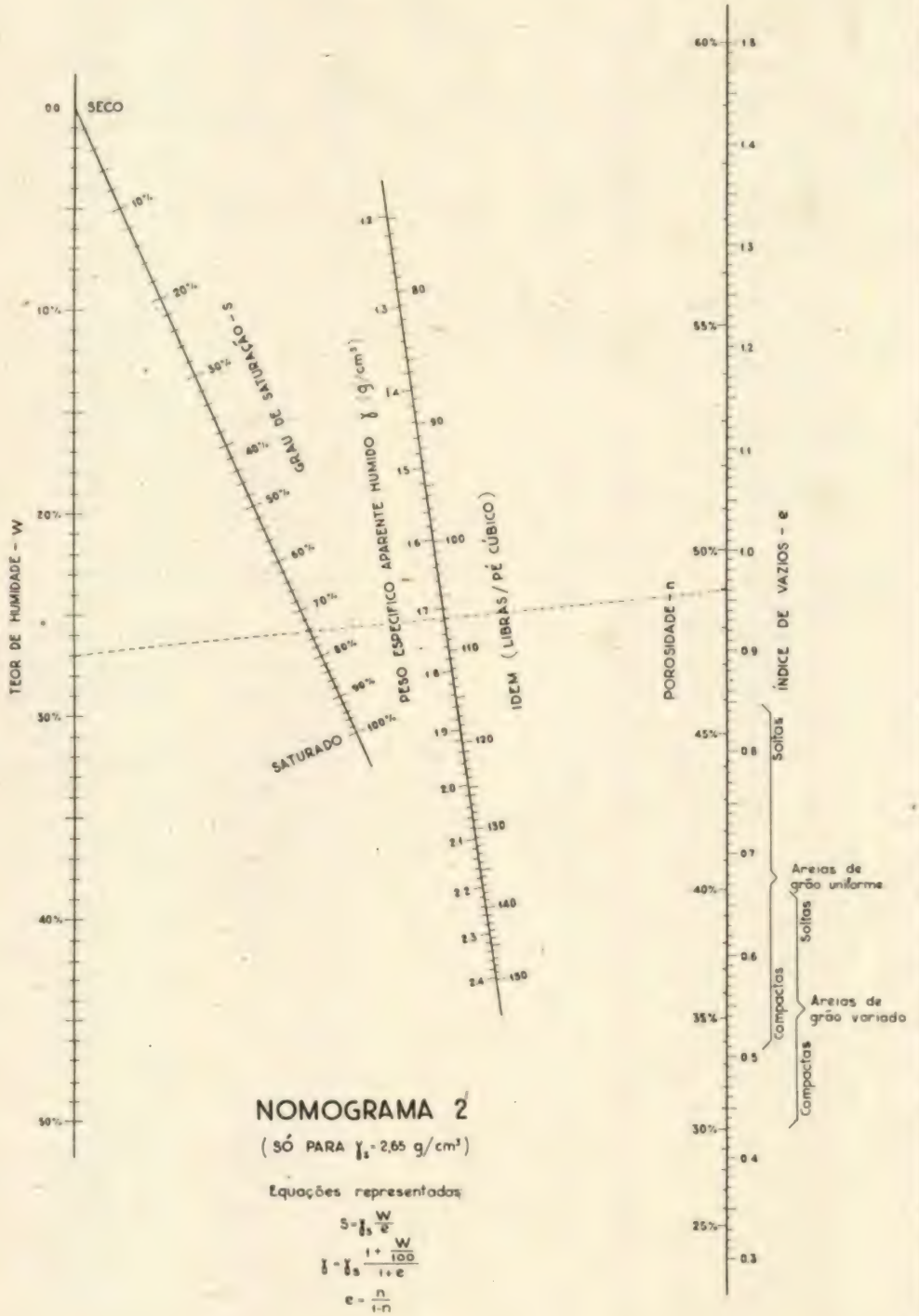
γ_s = peso específico médio dos elementos contituintes do solo

3—A escala do peso específico aparente húmido (γ) foi graduada de um lado em g/cm³ e do outro em libras/pé cúbico. Procedeu-se deste modo para facilitar a compreensão de textos na língua inglesa.

Do mesmo modo se procedeu para com a escala do peso específico aparente seco (γ_d).

[1] Terzaghi e Peck, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 1948, John Wiley & Sons, New York.


PESO ESPECIFICO APARENTE HUMIDO - γ - (g/cm³)
IDEM (LIBRAS/PÉ CÚBICO)
INDICE DE VAZIOS - e
POROSIDADE - n
PESO ESPECIFICO APARENTE SECO - γd - (g/cm³)
IDEM (LIBRAS/PÉ CÚBICO)
PESO ESPECIFICO DAS PARTICULAS SÓLIDAS γs (g/cm³)
Montmorilonite
Ortoclase
Caolino
Ilite
Quartzo
Calcite
TEOR DE HUMIDADE - W
NOMOGRAMA 1
Equações representadas
γd = γ/(W+100) × 100 e = γs/γd − 1 n = e/(1+e)
EXEMPLOS NUMÉRICOS
Dados
γ = 2,05 g/cm³
γs = 2,65 g/cm³
W = 24%
Resultados
γd = 1,65 g/cm³
e = 0,605
n = 37,5%
VASCO COSTA



NOMOGRAMA 2

(SÓ PARA $\gamma_s = 2{,}65$ g/cm³)

Equações representadas

$$S = \gamma_s \frac{W}{e}$$

$$\gamma = \gamma_s \frac{1 + \frac{W}{100}}{1 + e}$$

$$e = \frac{n}{1-n}$$

EXEMPLOS NUMÉRICOS

Dados:	Resultados
$\gamma_s = 2{,}65$ g/cm³	e = 0,96
$\gamma = 1{,}72$ g/cm³	n = 0,49
W = 27%	S = 75%

VASCO COSTA

4—Junto à escala do peso específico das partículas sólidas do Nomograma 1 indicaram-se as posições que nela ocupam alguns minerais que mais fàcilmente poderão ocorrer isolados.

O nomograma 2, para o qual se fixou o valor $\gamma = 2{,}65$ g/cm^3 para peso específico das partículas sólidas, presta-se especialmente a ser utilizado com areias, pois para estas se verifica em geral tal condição.

5—As equações que os nomogramas representam ou permitem resolver podem tomar as seguintes formas:

Nomograma N.º 1:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{w + 100}\,100$$

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1$$

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1 + e}$$

$$\gamma = \gamma_s \frac{1 + \frac{w}{100}}{1 + e}$$

$$\frac{\gamma}{\gamma_d} = 1 + \frac{w}{100}$$

$$\gamma_d = (1 - n)\,\gamma_s$$

$$e = \frac{n}{1 - n}$$

Nomograma N.º 2:

$$S = \gamma_s \frac{w}{e}$$

$$\gamma = \gamma_s \frac{1 + \frac{w}{100}}{1 + e}$$

6—Julgou-se desnecessário, dada a grande divulgação dos nomogramas de alinhamento, apresentar aqui quaisquer explicações sobre o seu modo de utilização, além das que vão indicadas nos próprios nomogramas.

7—Estes dois nomogràmas foram experimentados durante quatro anos no Laboratório de Engenharia Civil. Para a forma com que agora são publicados contribuiu com valiosas sugestões o Snr. Eng. José de Brito Folque, chefe da Secção de Fundações deste Laboratório, a quem apresentamos os nossos agradecimentos.

GABINETE DE ESTUDOS HIDRÁULICOS

ORGANIZADO EM 1945

Telefones 4 5451 e 5 3873 — Rua Rodrigo da Fonseca, 62-4.º D.to — LISBOA

ABASTECIMENTOS de ÁGUA

Direcção do
Eng.º Ferreira Chaves

Alguns trabalhos realizados:

Abastecimento de Água de Setúbal.

Ampliação do Abastecimento de Água do Funchal (Plano Geral).

CAPTAÇÕES SUBTERRÂNEAS
SONDAGENS

Direcção do
Eng.º Augusto Cavaco

Alguns trabalhos realizados:

Estação de Valada (Comp.ª das Águas de Lisboa)

Captações do Canário (S. Miguel — Açores).

TRABALHOS MARÍTIMOS
FUNDAÇÕES

Direcção do
Eng.º Vasco Costa

Alguns trabalhos realizados:

Estudo de obras acostáveis (Figueira da Foz e S. Tomé).

Fundação flutuante sobre lôdos (Sacavém).

APROVEITAMENTOS
HIDRO-AGRÍCOLAS
E
HIDRO-ELÉCTRICOS

—

"APAGEL"

Direcção do
Eng.º Barrancos Vieira

Alguns trabalhos realizados:

Rega (projectos e execução):

Aprov. Hidro-Agrícola de Vale de Moura (Rega de 250 ha).

Aprov. Hidro-Agrícola de Mercês (Rega de 40 ha).

Energia (projectos):

Aprov. Hidro-Eléctrico do Biópio (Angola).

Obras de Derivação e Central Subterrânea de Salamonde (Cávado).

PRODUTOS
DYRUP

TINTAS E VERNIZES
TIPO AMERICANO

FÁBRICA DE
TINTAS DE SACAVÉM
S. A. R. L.

SACAVÉM—PORTUGAL

TEL. { SACAVÉM 105
LISBOA 42651 42156

Companhia União Fabril
Sede: Rua do Comercio, 49
LISBOA

O MAIOR AGRUPAMENTO INDUSTRIAL
DA PENINSULA IBÉRICA

Fábricas em:
Alferrarede, Barreiro, Canas de Senhorim, Lisboa, Mirandela, Óbidos, Porto, Soure e Vila Nova de Gaia.

Superfosfatos, Sulfatos de Cobre, Enxofre, Sabões, Acidos, Oleos industriais e alimentares, Azeites, Torteame, Sacarias, Grossarias, Fios, Carpetes e Mangueiras.

Oficinas de:
Construções metalicas, Mecânica geral de Automoveis e Engrenagens

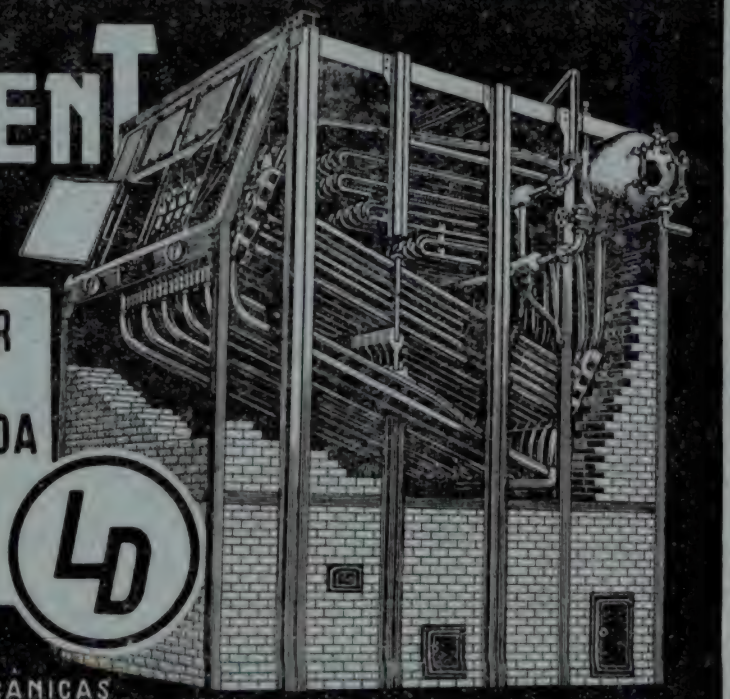
Fundição de:
AÇO, FERRO E OUTROS METAIS

Construção Naval
(Arrendataria do estaleiro naval da A. G. P. L.)

Metalurgia de Ouro e Prata — Refinação electrolitica

L. DARGENT
T. CONDE DA PONTE
LISBOA
TELEFONE 37006

CALDEIRAS A VAPOR
E A
ÀGUA SOBREAQUECIDA
LARDET
Pressões até 50 Hpz
Debitos de 1T5 a 30T/H



TODOS OS COMBUSTIVEIS
GRELHAS MANUAIS E MECÂNICAS
FACILIDADES DE INSTALAÇÃO
SIMPLICIDADE DE CONSERVAÇÃO
RENDIMENTOS ELEVADOS

DIMENSIONAMENTO EXPERIMENTAL DAS ESTRUTURAS

POR MANUEL ROCHA

(Engenheiro-Chefe de Serviço, Laboratório de Engenharia Civil)

(Conclusão)

C. D. 624.04.001.57

CAPÍTULO IV

OBSERVAÇÃO DOS MODELOS

44. — Para prever o comportamento duma estrutura a partir de um modelo é necessária, dum modo geral, a determinação de deslocamentos, de extensões e de tensões, a partir dos quais, pelas relações de semelhança, se podem deduzir as grandezas homólogas do protótipo.

Seguindo o esquema de cálculo corrente é necessário determinar as tensões desenvolvidas sob a acção das solicitações de serviço, pois é a partir dessas tensões que se faz o dimensionamento das construções.

No cálculo em relação à rotura só interessa, essencialmente, a determinação do valor das solicitações que provocam a rotura.

No dimensionamento pelo conceito probabilístico haverá necessidade de medir os deslocamentos e as características das fendas resultantes da actuação das várias solicitações com todas as intensidades possíveis. A partir dessas medições poder-se-á avaliar os prejuízos de vária ordem, como os provenientes de deformações excessivas, da necessidade de reparações, etc., que se darão no protótipo.

A determinação das extensões e das tensões pode fazer-se indirectamente recorrendo, como na fotoelasticidade, a fenómenos cujas relações com essas grandezas se conheçam.

É muito conveniente proceder à verificação do equilíbrio de troços dos modelos sempre que as tensões determinadas o permitam.

Por vezes também se faz a determinação sobre os modelos de outras grandezas além das referidas até aqui, como, por exemplo, temperaturas, cuja medição é geralmente realizada com pares termoeléctricos.

A. — Determinação dos deslocamentos

45. — A medição das componentes dos deslocamentos é feita correntemente com micrómetros de quadrante de 1/10 e 1/100 de milímetro e, raramente, de 1/1000 de milímetro. Para se poder atingir a correspondente precisão nas observações é indispensável que os aparelhos sejam cuidadosamente montados em apoios robustos (fig. 27). Quando as observações são demoradas é ainda necessário evitar ou ter em conta a influência de flutuações da temperatura ambiente.

No caso de modelos planos que se deslocam no seu plano usa-se também o microscópio para a determinação dos deslocamentos.

B. — Determinação do estado de deformação

46. — A determinação do estado de deformação num ponto é feita a partir da medição, por meio de extensómetros, de extensões de segmentos, não havendo aparelhos adequados à medição dos deslizamentos [1].

---

[1] Designamos por deslizamento a variação do ângulo formado por dois segmentos perpendiculares que se encontram num ponto.

Se for δ o alongamento sofrido por um segmento de comprimento L, suficientemente pequeno, a extensão do segmento é $\varepsilon = \frac{\delta}{L}$.

No caso geral, para definir completamente o estado de deformação num ponto é necessário conhecer as extensões em seis direcções. A extensão, ε, numa direcção de cosenos directores (l, m, n) em relação a um sistema de eixos ortogonais $Oxyz$ é dada pela expressão

$$\varepsilon = \varepsilon_x \, l^2 + \varepsilon_y \, m^2 + \varepsilon_z \, n^2 + \gamma_{xy} \, lm + \gamma_{xz} \, ln + \gamma_{yz} \, mn$$

onde

ε_x, ε_y, ε_z são as extensões de segmentos paralelos aos eixos coordenados; são positivas quando correspondem a aumentos de comprimento;

γ_{xy}, γ_{xz}, γ_{yz} são os deslizamentos relativos a segmentos paralelos aos eixos coordenados; γ_{xy} é positivo quando corresponde a uma deformação de que resulta um decréscimo do ângulo inicialmente recto, formado por direcções paralelas aos eixos coordenados Ox e Oy; anàlogamente para γ_{xz} e γ_{yz}.

A partir da medição de ε em 6 direcções passando por um ponto deduzem-se pois as 6 componentes da deformação, ε_x, ε_y, ε_z, γ_{xy}, γ_{xz}, γ_{yz}, referidas aos eixos $Oxyz$ prèviamente escolhidos.

Em geral o que interessa é a determinação das 3 extensões principais para a partir delas se calcularem as tensões principais. A determinação das grandezas e das direcções das extensões principais faz-se, analìticamente, a partir das componentes da deformação.

47. — No caso de um ponto da superfície dum sólido a deformação numa direcção paralela ao plano tangente nesse ponto é dada por

$$\varepsilon = \varepsilon_x \, l^2 + \varepsilon_y \, m^2 + \gamma_{xy} \, lm$$

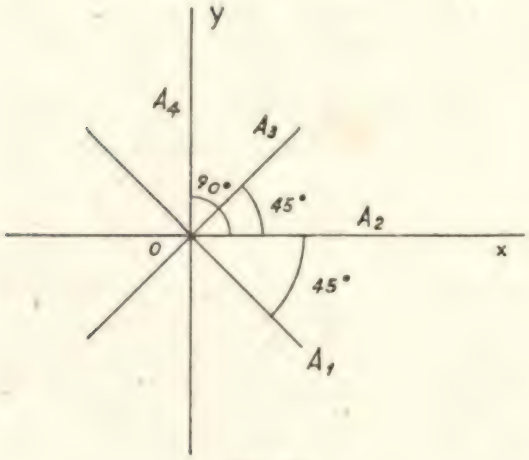


Fig. 30

tomando o plano Oxy coincidente com o plano tangente.

Conhecidas, portanto, as extensões em 3 direcções quaisquer podem determinar-se ε_x, ε_y, e γ_{xy}, que definem completamente o estado de deformação na superfície.

Convém, contudo, fazer a determinação em 4 direcções com o fim de controlar e compensar as observações. Assim, se as 4 direcções, OA_1, OA_2, OA_3 e OA_4, fizeram ângulos de 45° (fig. 30), deve ser, designando por ε_1, ε_2, ε_3 e ε_4 as correspondentes extensões, $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = \varepsilon_3 + \varepsilon_4$; se as 4 direcções são as da fig. 31, deve ser $\varepsilon_1 + \varepsilon_4 = \frac{2}{3}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3)$.

Se, no ponto da superfície considerado, as forças actuantes forem nulas ou normais à superfície, entre as extensões dadas pela última expressão encontram-se duas das extensões principais no ponto. As grandezas, ε' e ε'', destas extensões principais determinam-se pelas expressões

$$\varepsilon' = \frac{1}{2}\left(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \gamma_{xy}^2}\right)$$

$$\varepsilon'' = \frac{1}{2}\left(\varepsilon_x + \varepsilon_y - \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \gamma_{xy}^2}\right)$$

e as suas direcções, que definem as isostáticas da superfície do sólido, pela expressão

$$tg\ 2\,\psi = \frac{\gamma_{xy}}{\varepsilon_x - \varepsilon_y}$$

onde ψ, que é contado positivamente de Ox para Oy, designa os ângulos das direcções principais com Ox. Dos dois valores de ψ que satisfazem a esta expressão o que corresponde à maior extensão principal, ε', é aquele para o qual o ângulo de ε' com a maior (algèbricamente) das extensões ε_x e ε_y é inferior a 45°.

Se as extensões foram medidas em 3 direcções OA_1, OA_2 e OA_3, a 45° entre si, vem, dispondo os eixos tal como na fig. 30,

$$\varepsilon_x = \varepsilon_2$$

$$\varepsilon_y = \varepsilon_1 + \varepsilon_3 - \varepsilon_2$$

$$\gamma_{xy} = \varepsilon_3 - \varepsilon_1 \quad ;$$

as extensões principais são dadas por

$$\varepsilon' = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2}$$

$$\varepsilon'' = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2}$$

$$\text{tg}\ 2\psi = \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{2\varepsilon_2 - (\varepsilon_1 + \varepsilon_3)}$$

o valor de ψ que corresponde a ε' é aquele para o qual o ângulo de ε' com a maior (algèbricamente) das extensões ε_1 e ε_3 é inferior a 45°.

No caso das extensões serem medidas em direcções, OA_1, OA_2 e OA_3, a 60° vem, com os eixos da fig. 31,

$$\varepsilon_x = \varepsilon_1$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{3}(2\varepsilon_2 + 2\varepsilon_3 - \varepsilon_1)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{2}{\sqrt{3}}(\varepsilon_2 - \varepsilon_3)$$

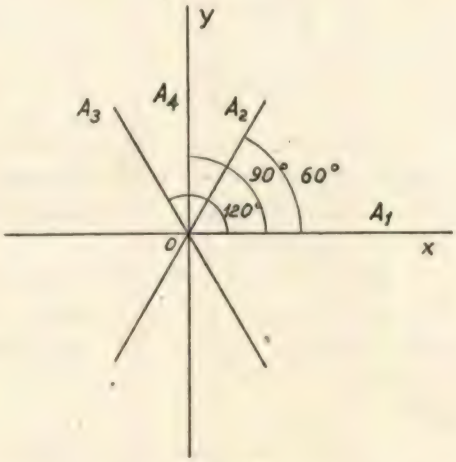


Fig. 31

sendo as extensões principais dadas por

$$\varepsilon' = \frac{1}{3}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3) + \frac{\sqrt{2}}{3}\sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2}$$

$$\varepsilon'' = \frac{1}{3}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3) - \frac{\sqrt{2}}{3}\sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2}$$

$$tg\ 2\,\psi = \frac{\sqrt{3}\,(\varepsilon_2 - \varepsilon_3)}{2\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3}$$

A determinação das extensões principais a partir de ε_1, ε_2 e ε_3, pode fazer-se muito expeditamente pelo círculo de Mohr das deformações. Para se traçar este círculo marcam-se em abcissas as extensões, ε, e em ordenadas metade do valor dos deslizamentos, $\frac{\gamma}{2}$ (fig. 32); aos valores destas grandezas correspondentes a uma direcção corresponde um ponto do círculo de Mohr.

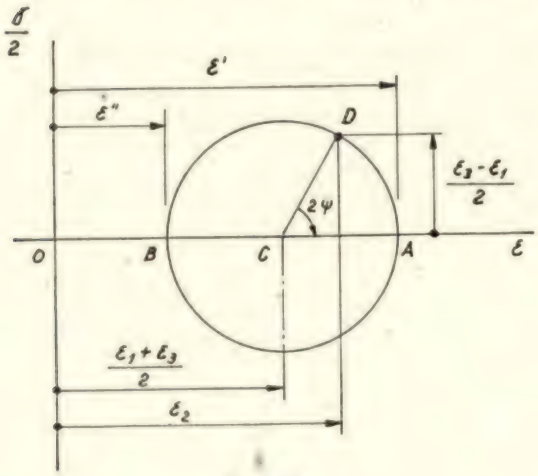


Fig. 32

No primeiro caso considerado, atendendo a que a abcissa do centro, C, do círculo é $\frac{\varepsilon' + \varepsilon''}{2} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{2}$, basta marcar o ponto D correspondente à direcção OA_2, cujas coordenadas são ε_2 e $\frac{\gamma}{2} = \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{2}$ (fig. 32); as grandezas das extensões principais são $\overline{OA} = \varepsilon'$ e $\overline{OB} = \varepsilon''$, e a direcção da maior extensão, ε', obtém-se marcando o ângulo ψ a partir de $\overline{OA_2}$ no mesmo sentido que o indicado para 2ψ na fig. 32.

Quando as medições se fazem nas três direcções a 60°, o traçado do círculo pode fazer-se a partir do conhecimento da abcissa do seu centro, $\overline{OC} = \frac{\varepsilon' + \varepsilon''}{2} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{3}$, e das coordenadas ε_1 e $\frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}{\sqrt{3}}$ do ponto D correspondente à direcção OA_1 (fig. 33); anàlogamente as grandezas das extensões principais são $\overline{OA} = \varepsilon'$ e $\overline{OB} = \varepsilon''$, e a sua direcção é definida por ψ marcado a partir de OA_1.

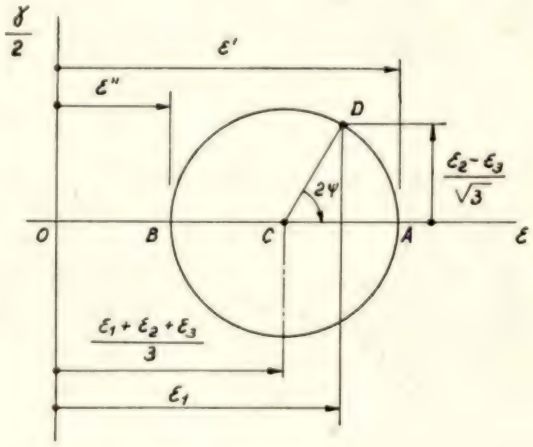


Fig. 33

A determinação das extensões principais a partir das extensões medidas em 3 direcções pode ser feita ainda mais expeditamente com o auxílio de ábacos [1].

48. — A medição de extensões em modelos tem sido, salvo raras excepções, feita exclusivamente em pontos da superfície com a aparelhagem e técnicas usuais em tais medições [2] [3] [4].

A medição das deformações no interior de um modelo apresenta, além das dificuldades inerentes a tais medições num sólido qualquer [5] [6], as provenientes das dimensões

---

(1) Hewson, T. A., Lessels and Associates, «A Nomographic solution to the strain rosette equations», Proc. of the Soc. for Exp. Stress Analysis, vol. IV, n.º 1, pg. 9, 1946.

(2) Rotscher, F., Jaschke, R., «Dehnungsmessungen und ihre Auswertung», Julius Springer, Berlim, 1939.

(3) L'Hermite, R., Dawance, Barrée, J., «La mesure de la déformation des solides», Inst. Tech. du Bat. et des Trav. Publ., Circ. Série I, n.º 16, 1944.

(4) «The measurement of stress and strain in solids», London Institute of Physics, 1948.

(5) Torroja, E., «El problema geral de la auscultacion», Instituto Técnico de la Construcción y Edificación, n.º 16, Madrid.

(6) Hast, Nils, «Measuring stresses and deformations in solid materials», The Royal Swedish Inst. for Eng. Res., Stockholm, 1948.

reduzidas dos modelos. Deve contudo frisar-se que, na maior parte dos problemas, as maiores deformações e tensões se dão na superfície.

No entanto o desenvolvimento de técnicas para medições no interior tem interesse não só para o estudo do comportamento de modelos nos quais as deformações e tensões mais importantes se dão no interior, mas também para medições na vizinhança de superfícies carregadas.

49. — Vamos apresentar, muito sumàriamente, os extensómetros mais usados nas medições de deformações na superfície, fazendo-se referência às possibilidades que oferecem de serem adaptados a medições no interior dos modelos.

No quadro seguinte estão apontadas as características mais importantes desses extensómetros.

Aparelhos	Base de medida L (mm)	Erros de medição: Alongamentos $\Delta\delta \times 10^3$ (mm)	Erros de medição: Extensões $\Delta\varepsilon \times 10^6$	Campo de medida
Mecânicos				
Huggenberger [a]				
Tipo A	10	0,1	10	0,2 mm
	20	0,1	5	0,2
	>20	$>0,1$	<5	0,2
Tipo B	20	0,2	10	0,2
	>20	$>0,2$	<10	0,2
Tipo F	10	0,05	5	0,2
Tipo FX [b].	10 a 15	0,05	5	0,2
Johansson [c]				
Pequeno	3	0,1	40	0,5
	>3	0,1	<40	0,5
Grande.	50	0,05	1	0,5
	>50	$>0,05$	<1	0,5
Acústicos				
Estação de medida Coyne [d] . .	100	0,1	1	0,09
	200	0,5	2	0,7
Eléctricos				
Tipo Baldwin (SR4) [e]	3 a 150			5×10^{-3} (extensão)
Observação com «indicator» . . Ensaio rápido . . .		—	5	
Observação com «indicator» . . Ensaio com duração de horas		—	10	
Observação com «recorder» . . Ensaio rápido . . .		—	10	

(*a*) De fabrico suiço

(*b*) Tipo especial para concentrações de tensão

(*c*) De fabrico sueco

(*d*) De fabrico francês

(*e*) De fabrico americano

Neste quadro designamos por erro de medição dos alongamentos, $\Delta \delta$, um valor médio do erro de medição do alongamento δ sofrido por um segmento de comprimento L, e por erro de medição das extensões, $\Delta \varepsilon$, um valor médio do erro de medição das extensões ε; é $\Delta \varepsilon = \frac{\Delta \delta}{L}$, pois é desprezível o erro proveniente da base de medida L. Os valores dos erros de medição dependem muito das condições experimentais, em especial do cuidado posto na montagem dos extensómetros, referindo-se os valores apresentados no quadro a boas condições. Indicam-se, na última coluna, os valores do campo de medida, isto é, os valores dos alongamentos máximos ou das extensões máximas que os aparelhos podem medir.

Conclui-se do quadro que a maior parte dos extensómetros permite a medição de extensões com um erro $\Delta \varepsilon = 10 \times 10^{-6}$. Admitido este valor, estão indicados no quadro seguinte valores aproximados do erro relativo com que é possível determinar as extensões e tensões desenvolvidas nos materiais mais usados na construção dos modelos, quando apresentam extensões vizinhas do limite de proporcionalidade; não se considerou a influência do erro do módulo de elasticidade no erro das tensões, a qual em geral não é muito importante.

Materiais	Extensão admitida ε (%)	Erro relativo das extensões e tensões $\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}$ (%)
Celulóide e plásticos	1	0,1
Gesso e gesso-diatomite	0,05	2
Argamassas e betões	0,02	5
Metais	0,2	0,5

Vê-se pois que, com a aparelhagem de que hoje se dispõe correntemente, se podem determinar as extensões e tensões com precisão inteiramente satisfatória.

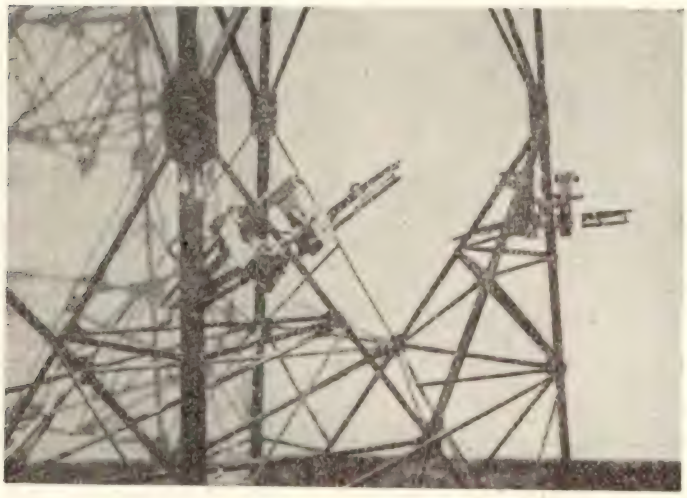


Fig. 34

50. — Os extensómetros Huggenberger e outros análogos foram, até há alguns anos, os mais usados em virtude de possuírem uma sensibilidade elevada, uma boa fidelidade e permitirem a medição sobre bases curtas. Na fig. 34 vêem-se extensómetros Huggenberger montados no modelo da fig. 15; preferiram-se estes extensómetros aos eléctricos em virtude da largura apreciável destes dificultar a determinação da variação de tensões ao longo das secções da estrutura.

Os extensómetros Johansson, que apareceram no mercado há poucos anos, permitem fazer observações com erros da ordem da dos anteriores e medições sobre bases muito curtas, pelo que estão indicados para medições em regiões onde se dão concentrações de tensões. Na fig. 35 está montado um destes extensómetros,

com base de 3 mm, com o fim de confirmar observações feitas pela fotoelasticidade num modelo de celulóide de espessura variável.

O apoio das pontas dos extensómetros mecânicos em materiais friáveis como o gesso e, sobretudo, as misturas de gesso com diatomite, deve ser feito sobre pequenas placas metálicas, por exemplo, de latão, coladas à superfície do modelo. Podem ver-se tais placas no tabuleiro do modelo de gesso de uma ponte representado na fig. 36.

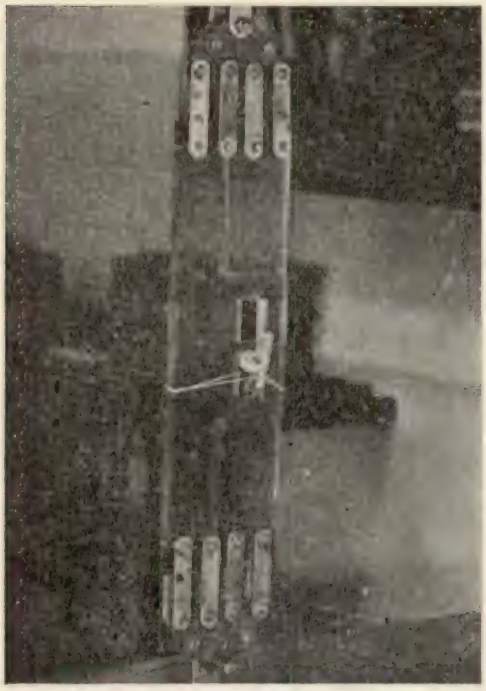


Fig. 35

Os extensómetros Huggenberger e Johansson, como em geral os extensómetros mecânicos, apresentam para as medições em modelos o inconveniente de ocuparem um espaço apreciável e da sua montagem ser muitas vezes difícil.

51. — Os extensómetros de corda vibrante têm também sido aplicados com êxito nas medições sobre modelos [1].

Ocupam um espaço reduzido, permitem a observação a distância, os erros de medição são muito pequenos, e são os mais fiéis para observações a longo prazo. Para garantir esta fidelidade é necessário evitar a oxidação da corda, e, em casos em que se exija maior rigor, convém montar e esticar as cordas com a antecedência de alguns dias em relação à época da sua observação, a fim de ser eliminado ou pelo menos minorado o efeito de fluência das cordas.

As cordas têm de ter o comprimento mínimo de cerca de 10 cm, o qual é excessivo nos modelos com pequenas dimensões. O diâmetro conveniente destas cordas é de cerca de 0,02 cm.

A montagem das cordas nos modelos pode fazer-se por intermédio de duas pequenas placas metálicas coladas na superfície, fig. 37, uma das quais permite dar fàcilmente à corda a tensão inicial conveniente; o electroíman pode ser amovível, colocando-se junto de cada corda no momento da sua observação. Na fig. 38 vêem-se cordas colocadas no paramento de montante do modelo de uma barragem, tendo sido necessário protege-las contra a acção directa da pressão hidrostática a que o modelo foi submetido.

52. — Os extensómetros eléctricos são sem dúvida os que melhor se adaptam às medidas correntes sobre modelos. São os que ocupam menos espaço e têm menor peso,

Fig. 36

(1) Ref. 3 da pág. 99 do n.º 216 da «Técnica».

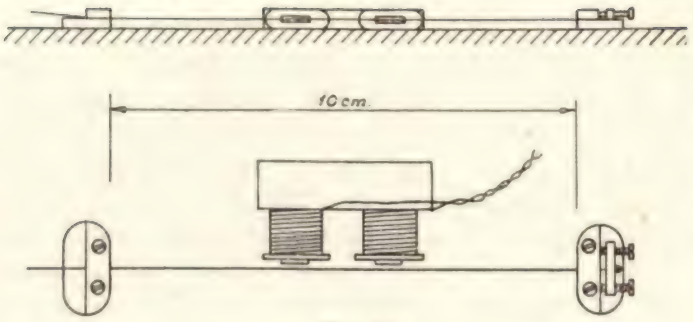


Fig. 37

montam-se muito fàcilmente sem exigir quaisquer acessórios, podem aplicar-se em superfícies a carregar, permitem a observação a distância, as bases são curtas e os erros de medição aceitáveis. Quando, como é habitual, é necessário determinar grande número de extensões, os extensómetros eléctricos, sobretudo quando se dispõe de aparelhagem de registo automático para algumas dezenas de aparelhos [1], são, salvo casos muito especiais, os que melhor satisfazem, quer pela rapidez com que se podem obter os resultados quer do ponto de vista económico; na fig. 27, em segundo plano, vê-se uma montagem para 48 extensómetros.

O único inconveniente digno de nota que apresentam estes extensómetros é uma pequena estabilidade no decorrer do tempo, o que resulta de serem muito influenciados pelas variações de temperatura [2] e, sobretudo, pela humidade. Por isso é necessário tomar precauções especiais [3] [4] desde que os ensaios durem alguns dias, fabricando-se já extensómetros especiais para observações demoradas ou em ambientes muito húmidos [5].

O emprego dos extensómetros eléctricos em regiões de forte concentração de tensões é prejudicado pela sua largura apreciável.

Fig. 38

A técnica de utilização dos extensómetros eléctricos para observações em modelos é a seguida nas aplicações correntes [6] [7] [8]. Quando se trata de materiais porosos, como as argamassas, o gesso e as mis-

---

(1) No Laboratório de Engenharia Civil servimo-nos de duas montagens cada uma para registo automático das indicações de 48 extensómetros.

(2) Há extensómetros eléctricos no mercado com um coeficiente de temperatura de tal modo elevado e variável de extensómetro para extensómetro que, mesmo com os cuidados habituais de introdução no circuito de um extensómetro compensador, a influência das flutuações correntes da temperatura ambiente ainda prejudica a precisão das observações.

(3) Tschebotarioff, G. P., «Use of electric resistivity strain gages over long periods of time», Proc. of the Soc. for Exp. Stress Analysis, vol. III, n.º 2, pg. 47, 1946.

(4) Field, E. C., «Some experiments on the waterproofing of electric wire resistance strain gauges», Road Research Laboratory, Note n.º RN/1237/ECF, 1949.

(5) Extensómetros com protecção de baquelite do fabricante Baldwin, com os quais se pode conseguir o erro de medição das extensões de cerca de 10−5.

(6) Ball, L. M., «Strain gage technique», Proc. of the Soc. for Exp. Stress Analysis, vol. III, n.º 1, pg. 1, 1945

(7) Refer. (4) da pg. 146.

(8) Dobie, W. B., Isaac, P. C., «Electric resistance strain gauges», The English Universities Press, Ltd., London, 1948.

turas de gesso com diatomite, é necessário impermeabilizar cuidadosamente a superfície do material antes da colagem dos extensómetros.

Nos modelos de plásticos das figs. 18 e 20 vêem-se colocados numerosos extensómetros eléctricos. No modelo da fig. 21 vêem-se diversos grupos de extensómetros (rosetas); o gesso do modelo foi prèviamente impermeabilizado com goma laca.

Os extensómetros eléctricos prestam-se, dadas as suas reduzidas dimensões, para a medição de extensões no interior de modelos. Em modelos de argamassa, gesso, etc., os extensómetros podem ser deixados no seu interior no momento da moldagem convenientemente protegidos contra a humidade.

53. — Além dos extensómetros referidos no quadro da pág. 147, os extensómetros de permeabilidade magnética [1], ainda pouco vulgarizados, devem prestar-se para as observações sobre modelos, em especial no interior, em virtude das reduzidas dimensões com que podem ser fabricados.

Citamos ainda o extensómetro pneumático Solex [2] que permite fazer medições sobre bases de 2 mm com uma apliação de 200.000 vezes.

54. — A determinação das isostáticas na superfície dos modelos pode fazer-se duma maneira muito expedita pelo método das camadas frágeis [3] [4]. Este método consiste em pintar a superfície do sólido com um verniz frágil, isto é, com um pequeno alongamento de rotura, o qual fende quando se aplicam forças ao sólido, seguindo as fendas as linhas isostáticas.

Tem sido aplicado com êxito a modelos de aço (fig. 39), e, sobretudo, de celulóide e de plásticos [5], dada a sua grande deformabilidade. Encontram-se dificuldades para a sua aplicação a materiais porosos, como as argamassas e o gesso.

É um método particularmente aconselhável quando se trata de formas complicadas, como as correntes em ligações das estruturas metálicas e em órgãos de máquinas [6], sendo aplicável a peças em movimento.

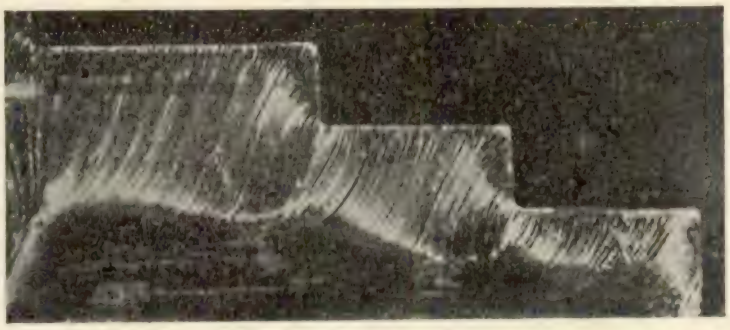


Fig. 39

Quando se submete o modelo às cargas as regiões onde aparecem em primeiro lugar as fendas são as mais solicitadas, dando o alargamento progressivo dessas regiões uma indicação das grandezas das tensões que se vão desenvolvendo. Consegue-se obter o aparecimento de fendas para extensões de 10^{-4}, sendo corrente o aparecimento para valores de 4×10^{-4}.

---

(1) Refer. (6) da pg. 146, Cap. VI; pg. 59.

(2) Usado no laboratório do Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, Paris, Ref. (3) da pg. 146.

(3) Ellis, G., «Practical strain analysis by use of brittle coatings», Proc. of the Soc. for Exp. Stress Analysis, vol. I, n.º 1, pg. 46, 1943.

(4) Ferry Borges, J., «Estudo experimental do campo de tensões pela rotura duma camada aderente», Laboratório de Engenharia Civil, Lisboa, 1947.

(5) Glover, R. E., Olsen, O. J., Zangar, C. «Experimental aids in structural concrete design» J. of the Am. Conc. Inst., Vol. 20, n.º 6, pg. 462, 1949.

(6) Hetényi, M., Young, W. E., «Application of the brittle lacquer method in the stress analysis of machine parts», Proc. of the Soc. for Exp. Stress Analysis, vol. I, n.º 2, pg. 116, 1944.

O conhecimento das isostáticas permite diminuir o número de observações a efectuar para a determinação do estado de deformação, pois indica as direcções em que se devem colocar os extensómetros.

Com técnicas bastante evoluídas que têm sido desenvolvidas nos últimos anos [1] consegue-se mesmo determinar com este método, por vezes com aproximação suficiente, as grandezas das extensões na superfície, das quais se deduzem as tensões [2].

C. — Determinação do estado de tensão

55. — A determinação das tensões nos sólidos tem sido feita a partir da medição de extensões, o que exige o conhecimento das relações entre tensões e deformações.

No caso do material obedecer à lei de Hooke as grandezas das tensões principais, σ', σ'' e σ''', estão relacionadas com as das extensões principais, ε', ε'' e ε''', pelas conhecidas expressões

$$\sigma' = \frac{\nu E}{(1+\nu)\ (1-2\nu)} (\varepsilon' + \varepsilon'' + \varepsilon''') + \frac{E}{1+\nu} \varepsilon'$$

$$\sigma'' = \frac{\nu E}{(1+\nu)\ (1-2\nu)} (\varepsilon' + \varepsilon'' + \varepsilon''') + \frac{E}{1+\nu} \varepsilon''$$

$$\sigma''' = \frac{\nu E}{(1+\nu)\ (1-2\nu)} (\varepsilon' + \varepsilon'' + \varepsilon''') + \frac{E}{1+\nu} \varepsilon'''$$

As direcções das tensões principais coincidem com as das extensões principais.

Num ponto da superfície do sólido onde actuam forças normalmente à superfície as grandezas das tensões principais paralelas à superfície, σ' e σ'', obtêm-se a partir das expressões anteriores em função das extensões principais paralelas à superfície, ε' e ε'', e de σ''', que é a tensão exterior actuante. Se as forças exteriores actuantes no ponto forem nulas, as grandezas das tensões principais são

$$\sigma' = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon' + \nu\varepsilon'')$$

$$\sigma'' = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon'' + \nu\varepsilon')$$

$$\sigma''' = 0$$

Nos últimos anos têm sido desenvolvidos métodos gráficos [3], e sistemas mecânicos [4][5] e eléctricos [6][7], destinados ao cálculo expedito das tensões principais desenvol-

---

(1) Nos E. U. A. pela Magnaflux Corporation que fornece vernizes de tipos, designados «stresscoat», adequados às condições de temperatura e humidade em que decorre o ensaio.

(2) Hetényi, M., «Brittle models and brittle coatings», Handbook of experimental stress analysis, chap. 14, pg. 636, John Wiley and sons, 1950.

(3) Bossart, K. J., Brewer, G. A., «A graphical method of rosette analysis», Proc. of the Soc. for Exp. Stress Analysis, vol. IV, n.º 1, pág. 1, 1946.

(4) Basset, W. V., Cromwell, H., Wooster, W. E., «Improved techniques and devices for stress analysis with resistance wire gages», Proc. of the Soc. for Exp. Stress Analysis, vol. III, n.º 2, pág. 76, 1946.

(5) Murray, W. M., «Machine solution of the strain rosette equations», Proc. of the Soc. for Exp. Stress Analysis, vol. II, n.º 1, pág. 106, 1944.

(6) Hoskins, E. E., Oleson, R. C., «An electrical computer for the evaluation of strain rosette data», Proc. of the Soc. for Exp. Stress Analysis, vol. II, n.º 1, pág. 67, 1944.

(7) Meier, J. H., Mehaffey, W. R., «Electronic computing apparatus for rectangular and equiangular strain--rosettes», idem, pág. 78.

vidas à superfície em função das extensões medidas, especialmente adoptados às medições com extensómetros eléctricos.

A avaliação das tensões máximas desenvolvidas num sólido elástico pode fazer-se por um método que consiste na determinação do valor das solicitações que determinam a rotura de um modelo constituído por um material frágil que tenha uma lei de deformação aproximadamente linear até à rotura [1].

Este método é aconselhável no caso de sólidos de forma complexa, sobretudo quando as tensões máximas não se dão à superfície.

56. — Quando as relações entre tensões e deformações não são lineares e há a considerar o efeito tempo, já não é em geral possível determinar as tensões a partir das deformações. Deve notar-se que mesmo no caso dos materiais obedecerem à lei de Hooke se encontra por vezes a dificuldade do módulo de elasticidade sofrer flutuações importantes, de ponto para ponto ou no decorrer do tempo, difíceis de detectar.

Recentemente foi posta em evidência uma propriedade [2] [3] que permite fazer a determinação *directa* de tensões nos sólidos. Essa propriedade é a seguinte: se num ponto do interior dum sólido qualquer for introduzido um sólido elástico de pequenas dimensões, em ligação íntima com o primeiro, as tensões desenvolvidas no sólido elástico só dependem do estado de tensão na vizinhança desde que o seu módulo de elasticidade seja suficientemente grande em face do correspondente às deformações do sólido envolvente. Daqui se conclui que se medirmos as tensões instaladas no sólido elástico, por intermédio, por exemplo, da medição das suas deformações, disporemos dum método de medição directa de tensões no interior de um sólido, aplicável mesmo quando não existe uma relação linear entre tensões e deformações e quando há deformação por fluência.

Este método pode adoptar-se na medição de tensões em modelos, fazendo-se a medição das deformações da inclusão com extensómetros eléctricos ou de permeabilidade magnética.

D. — Modelos de estruturas lineares

57. — As estruturas lineares em equilíbrio elástico a duas dimensões têm sido sem dúvida as estruturas às quais mais frequentemente se têm aplicado os métodos experimentais. Isso resulta da facilidade com que se constroem e observam os modelos de estruturas lineares em equilíbrio a duas dimensões.

Os modelos de estruturas lineares podem ser estudados usando os métodos gerais de determinação de deslocamentos, extensões e tensões, referidos anteriormente, cuja aplicação pode ser simplificada se se trabalhar dentro das aproximações da Resistência de Materiais.

Contudo têm sido desenvolvidos numerosos métodos particulares para o estudo experimental de estruturas lineares, os quais têm concorrido notàvelmente para chamar a atenção para o valor dos métodos experimentais de dimensionamento.

Se for n o grau de hiperestaticidade (exterior e interior) de uma estrutura linear em equilíbrio elástico, basta a determinação de n grandezas, como esforços, extensões, deslocamentos (lineares ou angulares), convenientemente escolhidos, para definir completamente o estado de tensão da estrutura. Convém no entanto fazer um número de determinações superabundante para ser possível fazer verificações por via da estática.

---

(1) Ref. (2) da pág. 152.

(2) Refer. (6) da pág. 146.

(3) Coutinho, A., «Théorie de la détermination expérimentale des contraintes par une méthode n'exigeant pas la connaissance précise du module d'élasticité». Mem. Ass. Int. des Ponts et Charpentes, vol. VII, 1949.

a) *Método geral*

58. — O estudo dos modelos de estruturas lineares pelo método geral de medição de extensões com extensómetros topava, até há algus anos, com a dificuldade dos aparelhos de que se dispunha terem, juntamente com os acessórios necessários à sua montagem, dimensões e peso excessivos em face das dimensões e da rigidez que convém dar aos modelos. Com o aparecimento dos extensómetros eléctricos a observação de modelos de pequenas dimensões foi muito facilitada.

Em virtude das reduzidas dimensões que têm por vezes as secções das peças dos modelos de estruturas lineares é necessário ter em conta a largura dos extensómetros eléctricos; nos modelos em equilíbrio a duas dimensões convém aplicá-los nas faces do modelo normais ao plano da estrutura.

No caso de modelos em equilíbrio elástico fàcilmente se calculam as tensões a partir das extensões medidas. Se o modelo tem secções geomètricamente semelhantes às do protótipo as tensões neste obtêm-se imediatamente a partir das observadas no modelo aplicando as expressões dos artigos 19 a 22. Se as secções do modelo não são geomètricamente semelhantes às do protótipo as extensões observadas permitem-nos calcular os esforços no modelo e portanto, pelas expressões dos artigos 27 a 32, os esforços no protótipo.

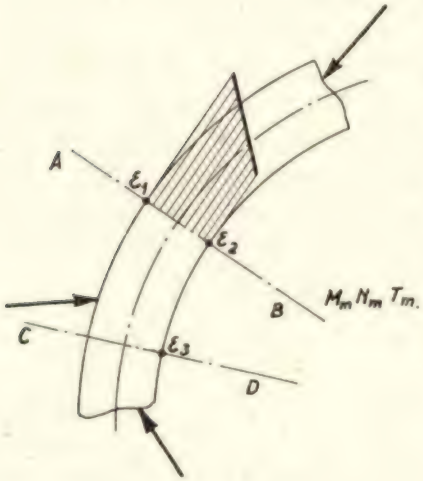


Fig. 40

Assim, no caso duma estrutura linear em equilíbrio a duas dimensões, para definir as solicitações numa peça, rectilínea ou não, é necessário, no caso mais geral, conhecer as extensões em 3 pontos. Se forem ε_1 e ε_2 as extensões nas fibras extremas duma secção do modelo (fig. 40), suposta rectangular, o esforço normal e o momento flector nessa secção são dados por

$$N_m = E_m S^m \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2}$$

$$M_m = \frac{E_m I_m}{h_m} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2).$$

O esforço transverso T_m na secção pode determinar-se a partir da medição da extensão ε_3 noutro ponto da peça e do estabelecimento das condições de equilíbrio do troço compreendido entre as secções AB e CD. Tratando-se de uma peça duma estrutura linear no espaço será em geral necessário medir as extensões em 6 pontos.

Para ser legítimo o cálculo dos esforços pelas expressões da Resistência de Materiais deve evitar-se fazer medições de extensões em pontos muito próximos dos nós ou de pontos de aplicação de cargas concentradas.

Quando as forças a aplicar ao modelo são em número tal que seja difícil aplicá-las simultâneamente, caso corrente em estudos do efeito do peso próprio e de sobrecargas permanentes, ou quando se deseja averiguar o efeito de cargas móveis, é conveniente determinar as linhas de influência das extensões deslocando uma carga ao longo do modelo. A partir destas linhas deduzem-se as linhas de influência dos esforços. As observações para o traçado daquelas linhas podem ser feitas simultâneamente desde que se tenham montado os necessários extensómetros.

A determinação de esforços provenientes de variações uniformes de temperatura pode ser feita fàcilmente a partir da imposição aos apoios dos modelos dos deslocamentos correspondentes às variações de temperatura.

A averiguação dos efeitos de deslocamentos de apoios não apresenta dificuldades.

b) *Métodos particulares*

59. — Entre os métodos particulares de estudo de estruturas lineares em equilíbrio elástico os mais utilizados são os que permitem a determinação das linhas de influência das solicitações hiperestáticas (exteriores e interiores) a partir do teorema da reciprocidade de Maxwell-Betti. [1] [2] [3].

Vejamos em primeiro lugar como se faz a determinação de hiperestáticas exteriores. Consideremos uma estrutura linear, por exemplo a da fig. 41, submetida à acção de uma força F, a qual origina no apoio A_1, encastrado, as reacções R_1 e M_1 e no apoio A_2, articulado, a reação R_2.

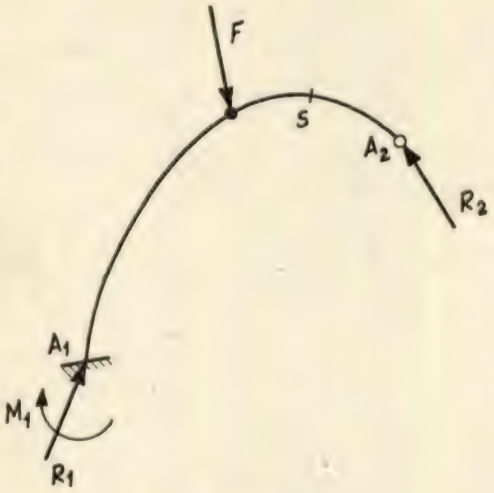


Fig. 41

Para se determinar com auxílio de um modelo (fig. 42) a componente X_1 da reacção R_1 numa direcção qualquer $O\,x_1$, começa-se por impor à secção homóloga de A_1 uma translação, δ_1, na direcção de $O\,x_1$; para o ponto homólogo do ponto de aplicação de F resulta um deslocamento cuja projecção, sobre a direcção homóloga da da força F, designamos por δ'. O teorema da reciprocidade de Maxwell-Betti permite mostrar que

$$X_1 = -\frac{\delta'}{\delta_1} F$$

Portanto, para determinar a componente X_1 devida à força F, a qual nunca actuou no modelo, basta impor uma translação δ_1, de grandeza conhecida, e medir a componente na direcção da força, δ', do deslocamento do ponto homólogo do de aplicação da força. O modelo permite pois determinar o coeficiente de influência de F sobre X_1, bastando, como se depreende da expressão de X_1, que o modelo seja dimensionado de modo a haver semelhança de deslocamentos, isto é, não é necessário que haja semelhança das secções homólogas. δ_1 pode ser qualquer, mas pequeno, mantendo-se o coeficiente $\frac{\delta'}{\delta_1}$ constante.

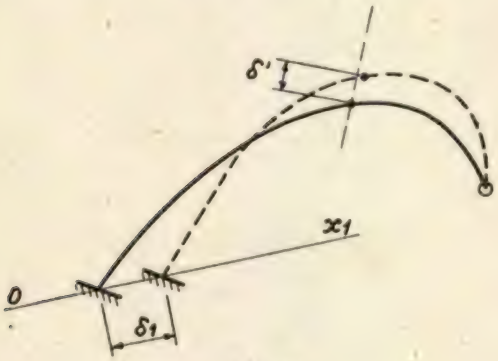


Fig. 42

Anàlogamente se obteria a componente de R_1 noutra direcção.

Por via de regra impõem-se translações, δ_N e δ_T, segundo a normal à secção e no plano da secção, a fim de obter o esforço normal e o esforço transverso desenvolvidos.

Se for imposta à secção uma rotação ψ, (fig. 43), em torno do seu centro de gravi-

---

(1) Pippard, A., «The experimental study of structures», Edward Arnold and Co., Londres, 1947.

(2) Rocha, M., «Estudo das estruturas hiperestáticas pelos teoremas de Castigliano e pelo método de Beggs», Laboratório de Engenharia Civil, Lisboa, 1943.

(3) Mc. Cullough, B., Thayer, E., «Elastic arch bridges», Chap. VII, John Willey and Sons., Inc., New York, 1931.

dade, o momento flector M_1 é dado pela expressão

$$M_1 = -\frac{\delta''}{\psi} F$$

designando por δ'' a projecção, ainda sobre a direcção homóloga da de F, do deslocamento provocado pela rotação ψ.

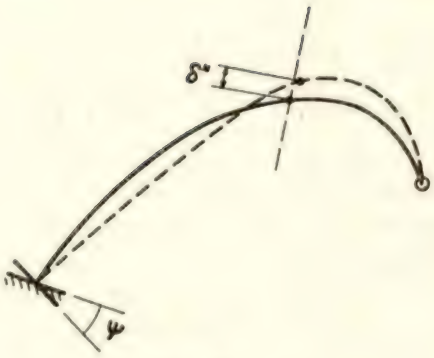


Fig. 43

No caso de um apoio com articulação, como o apoio A_2 da estrutura da fig. 41, a componente da reacção R_2 segundo uma direcção qualquer é ainda dada por $-\frac{\delta'}{\delta_1} F$, sendo agora δ' o deslocamento devido a um deslocamento, δ_1, imposto à articulação sem contrariar a sua rotação.

Vejamos agora como o teorema da reciprocidade permite a determinação dos esforços interiores.

Suponhamos que, ainda para a estrutura da fig. 41, se deseja determinar os esforços, M, N, T, desenvolvidos numa secção qualquer S em virtude da aplicação de F. Para isso corta-se o modelo por essa secção (fig. 44), e impõe-se a um dos bordos do corte em relação ao outro uma translação δ_N na direcção da normal à secção; mostra-se que o esforço normal desenvolvido é dado por

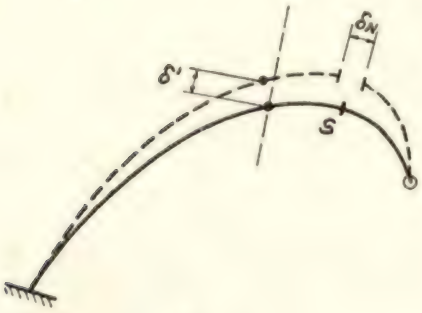


Fig. 44

$$N = -\frac{\delta'}{\delta_N} F$$

onde δ' continua a ser o deslocamento projectado provocado por δ_N.

Anàlogamente, se se impuzer a um bordo em relação ao outro uma translação δ_T no plano da secção, se pode determinar o esforço transverso pela expressão

$$T = -\frac{\delta'}{\delta_T} F$$

Se se impuzer a um dos bordos em relação ao outro uma rotação ψ, o momento é dado por

$$M = -\frac{\delta'}{\psi} F$$

Suponhamos agora que a estrutura linear é actuada por um sistema qualquer de forças, mesmo distribuídas. Então, para se determinar, por exemplo, o esforço normal N num apoio bastará impor um deslocamento δ_N e medir os deslocamentos projectados δ' correspondentes a todas as forças aplicadas, os quais, visto $N = -F\frac{\delta'}{\delta_N}$, são afinal proporcionais às ordenadas da linha de influência das solicitações consideradas no esforço normal desenvolvido no apoio.

Em resumo: impondo deslocamentos δ_N, δ_T e ψ, os deslocamentos dos diversos pontos da estrutura linear dão imediatamente as ordenadas das linhas de influência dos esforços, quer se trate dos esforços em secções de apoio ou em secções interiores.

A determinação das hiperestáticas exteriores e interiores pelo método que se acaba de apresentar é, em princípio, aplicável mesmo a estruturas lineares no espaço: bastaria, anàlogamente, impor aos apoios certos deslocamentos e medir os deslocamentos projectados correspondentes às forças aplicadas. No entanto as dificuldades de imposição de deslocamentos a modelos a 3 dimensões e, sobretudo, a dificuldade de medição dos deslocamentos projectados têm dificultado tal aplicação.

Não é possível a determinação de efeitos de variações de temperatura e de deslocamentos de apoios a partir do teorema da reciprocidade.

60. — Baseados nos resultados que se acabam de expor desenvolveram-se diversos métodos de estudo de modelos de estruturas lineares em equilíbrio a 2 dimensões.

Os diversos métodos diferem na grandeza dos deslocamentos aplicados, na técnica de imposição destes deslocamentos e na técnica de medição dos deslocamentos projectados.

Há métodos em que se impõem grandes deslocamentos [1] [2], o que tem a vantagem de permitir observar directamente o funcionamento da estrutura e, além disso, de facilitar a medição dos deslocamentos projectados, a qual pode ser feita com uma régua graduada em milímetros.

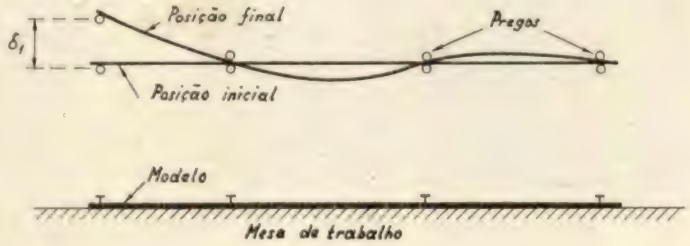


Fig. 45

Os modelos têm de ser muito deformáveis, usando-se de preferência modelos metálicos constituídos por varões de pequeno diâmetro [3] ou, como no método de Gottschalk, por lâminas. Quando se usam modelos metálicos não é expedita a construção de modelos de secção variável, preferindo-se neste caso usar o celulóide ou os plásticos.

Visto imporem-se deslocamentos que podem atingir alguns centímetros a modelos com dimensões que habitualmente têm poucas dezenas de centímetros, estes métodos apresentam o grave inconveniente dos resultados serem afectados pela redistribuição do estado de tensão; isto é, as grandezas dos deslocamentos impostos são tais que já afectam o valor dos coeficientes de influência $\frac{\delta'}{\delta_N}$, $\frac{\delta'}{\delta_T}$, ...

No entanto em certos casos a redistribuição não é de temer. Tal acontece em modelos de vigas contínuas aos quais se podem impor, para a determinção das reacções dos apoios, deslocamentos de cerca de 1/5 da distância entre dois apoios consecutivos sem que daí resultem erros superiores a 1 % [4].

Por isso o método dos grandes deslocamentos é aconselhável para o cálculo de vigas contínuas de secção variável. O modelo, que pode ser de celulóide, é apoiado sobre uma mesa coberta com papel milimétrico e os vãos da viga são definidos por meio de pregos (fig. 45): impondo a um apoio um deslocamento δ_1, na direcção da reacção, observam-se sobre o papel milimétrico os deslocamentos δ', os quais dão as ordenadas $\frac{\delta'}{\delta_1}$ da linha de influência da reacção desse apoio. O método pode pois aplicar-se em qualquer gabinete de cálculo de estruturas.

---

(1) Ricaldoni, J., «La estatica experimental de las estructuras», Boletim de la Faculdad de Ingenieria de Montevideo, n.º 7, 1939.

(2) Eney, W. J., «A large displacement deformeter apparatus for stress analysis with elastic models», Proc. of the Soc. for Exp. Stress Analysis, vol. VI, n.º 2, pg. 84, 1949.

(3) Bull, A., «Brass wire models used to solve indeterminate structures». Eng. News Record, Dez., 8, 1927

(4) Ref. (2) da pg. 155.

Os métodos de determinação de linhas de influência pela imposição de grandes deslocamentos têm hoje quase exclusivamente interesse pedagógico [1].

61. — Dos métodos baseados no teorema da reciprocidade, o de Beggs é o que tem sido mais usado [2]. As suas características mais importantes são a imposição de pequenos deslocamentos e a medição dos deslocamentos projectados com microscópio. Na fig. 46 vê-se a montagem usada para o estudo por este método do modelo de um arco encastrado; dada a grande rigidez do arco o modelo foi construído de aglomerado de cortiça.

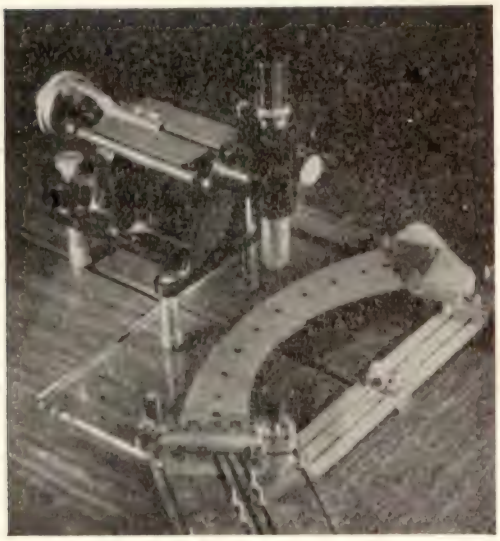


Fig. 46

Para a imposição dos deslocamentos recorre-se a um aparelho muito simples, designado deformador, (fig. 47), essencialmente constituído por duas peças A e B, com o comprimento de cerca de 10 cm, ajustadas às cavilhas C_1 e C_2 por intermédio das molas representadas na figura.

Quando se deseja determinar as solicitações num apoio encastrado, encastra-se o modelo numa das peças, B, do aparelho, como está indicado na figura, e liga-se a outra, A, à mesa de trabalho por intermédio dos parafusos P_1 e P_2. Deste modo o plano do modelo fica paralelo à mesa de trabalho, sendo conveniente apoiá-lo sobre esferas metálicas (fig. 48) a fim de o manter na devida posição sem contudo haver sujeições para o seu deslocamento. Se o apoio for articulado é fácil realizar a articulação por meio de uma cavilha que atravessa o modelo e fica ligada à peça B.

Para impor ao apoio um deslocamento correspondente ao esforço normal N basta substituir as cavilhas C_1 e C_2, de igual diâmetro, D_1, por outras de diâmetro D_2; a grandeza do deslocamento resultante é $\sqrt{2}\,(D_2 - D_1)$. Para impor um deslocamento na direcção do esforço transverso T intercalam-se, em vez das cavilhas com secção circular, cavilhas com a secção indicada na fig. 49; rodando simultâneamente as duas cavilhas de 90° a secção encastrada desloca-se, na referida direcção, de $\sqrt{2}\,(D_2 - D_1)$, sendo D_1 e D_2 as grandezas indicadas na fig. 49. Finalmente, para se determinar o momento flector é necessário impor uma rotação à secção de encastramento, em torno do seu centro de gravidade; para isso, começa-se por intercalar cavilhas de diâmetros diferentes, D_1 e D_2, cuja posição é depois trocada, o que obriga a secção a rodar de $\sqrt{2}\,\dfrac{D_2 - D_1}{L}$

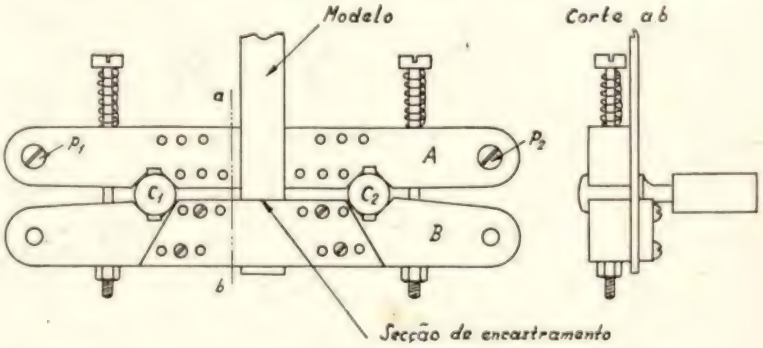


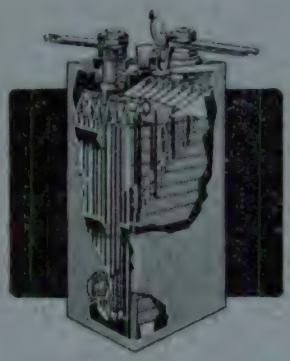
Fig. 47

---

(1) Refer. (1) da pág. 155.
(2) Refer. (3) da pág. 155.

BATERIAS ALCALINAS

CÁDMIO — NÍQUEL



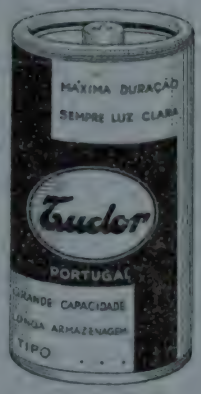
PARA: TELEFONES — RÁDIORECEPTORES AERODÍNAMOS — CENTRAIS ELÉCTRICAS ILUMINAÇÃO DE SOCORRO — CAMINHOS DE FERRO — APARELHAGEM MEDICINAL TRACÇÃO — LABORATÓRIOS — E.TC.

SOCIEDADE PORTUGUESA DO ACUMULADOR Tudor

Avenida Fontes Pereira de Melo, 12 — LISBOA — Telef. 5 1947

PILHAS SECAS

Tudor



PARA: LANTERNAS — CAMPAINHAS — RÁDIORECEPTORES TELEFONES — TELÉGRAFO — SINALIZAÇÃO APARELHAGEM MEDICINAL — APARELHOS DE SURDEZ — ETC.

•

TODAS AS PILHAS SECAS DE TODAS AS MARCAS SE DESCARREGAM COM O TEMPO...

COMPRAR PILHAS SECAS Tudor **É COMPRAR PILHAS RECÉM-FABRICADAS**

17 ANOS DE FABRICAÇÃO EM PORTUGAL

A Timken Roller Bearing Company de Canton, Ohio, E. U. A.

... avisa o público que, em virtude de sentença do tribunal americano «United States District Court for the Northern District of Ohio, Eastern Division», no litigio: «United States of America vs. The Timken Roller Bearing Company», o seu contrato com a British Timken Ltd., de Birmingham, Inglaterra, e com a Société Anonyme Française Timken, de Asnières, França, concedendo a essas companhias o direito exclusivo da venda de rolamentos cónicos em certos e determinados territórios, para serem utilizados em montagens de maquinismos novos e, ao mesmo tempo, impondo-nos certas condições na sua venda como peças sobresselentes, nos mesmos territórios, terminou, ficando interdita a sua prorrogação.

Estamos autorizados, desde já, a vender rolamentos cónicos em todos os territórios independentemente de quaisquer restrições a que estávamos sujeitos pelo mesmo contrato.

THE TIMKEN ROLLER BEARING COMPANY, CANTON 6, OHIO, U. S. A.

KOCKUMS

(MALMOE) SUÉCIA

•

ESTALEIROS NAVAIS ✦ NAVIOS MERCANTES
PETROLEIROS ✦ NAVIOS DE GUERRA
MOTORES «DIESEL»
LOCOMOTIVAS ELÉCTRICAS «DIESEL»
VAGÕES DE CARGA ✦ CARRUAGENS DE PASSAGEIROS
PONTES ✦ CALDEIRAS DE VAPOR ✦ GUINDASTES
PURIFICADORES DE ÀGUA

AGENTES EXCLUSIVOS EM PORTUGAL
E PROVÍNCIAS ULTRAMARINAS

WIESE & C.ª LDA.

RUA DO ALECRIM, 12-A — LISBOA — TELEF. 34331 (5 LINHAS)

radianos, designando por L a distância entre os eixos das cavilhas. Os deformadores do tipo Beggs podem introduzir deslocamentos lineares da ordem do milímetro e deslocamentos angulares da ordem do centésimo de radiano.

A determinação dos deslocamentos projectados faz-se com um microscópio ligado a um parafuso micrométrico (fig. 46). Para a medição num ponto coloca-se o microscópio com o eixo do parafuso paralelo à direcção na qual se deseja determinar a componente do deslocamento e dispõe-se um dos fios de retículo normalmente a essa direcção; a diferença das leituras no parafuso correspondentes às duas visadas do ponto será o valor procurado. É possível conseguir determinar os deslocamentos projectados com erros de cerca de 0,01 mm.

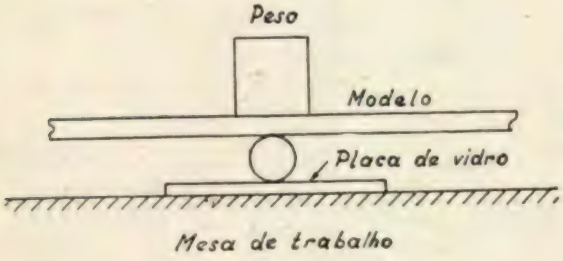


Fig. 48

Há montagens [1] que dispõem de vários microscópios com o fim de tornar o ensaio mais rápido e também de evitar os erros resultantes da mudança da posição das cavilhas por cada ponto a observar.

Nos métodos em que se impõem pequenos deslocamentos as ordenadas máximas das linhas de influência podem ser determinadas com erros inferiores a 10 %, geralmente de cerca de 5 %, desde que seja seguida uma técnica cuidada. Assim, é necessário dimensionar os modelos, em especial as alturas das secções, com precisão, ligá-los a apoios indeformáveis, utilizar os microscópios com extremo cuidado, etc.

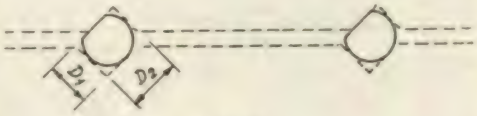


Fig. 49

O método de Beggs também pode ser utilizado para a determinação dos esforços desenvolvido numa secção interior, para o que é necessário cortar o modelo por essa secção e ligar cada um dos bordos a uma das peças, A e B, do aparelho. Os movimentos do deformador não devem ser contrariados pelo que convém apoiá-lo sobre esferas.

Nas estruturas lineares complexas, que são aquelas que interessa estudar experimentalmente, não há a maior parte das vezes espaço disponível para montar o deformador, o qual, além disso, não pode ser aplicado nos bordos do corte mas sòmente a uma distância por vezes excessiva; por outro lado a sua montagem é demorada e difícil e, frequentemente, a rigidez do modelo não permite a imposição dos deslocamentos com a grandeza conveniente. Além disso é necessário cortar e colar sucessivas vezes o modelo a fim de serem feitas observações relativas a várias secções.

Por estas razões não é aconselhável a utilização do método de Beggs para a determinação de esforços interiores. Para esta determinação foi desenvolvido o «moment deformeter» [2], aparelho ainda baseado no teorema da reciprocidade. Este aparelho evita o corte dos modelos mas apresenta os inconvenientes de exigir bastante espaço, de só poder ser aplicado sobre peças rectilíneas de secção constante e de só determinar as linhas de influência dos momentos flectores; por estas razões não tem sido empregado.

62. — Os deslocamentos impostos e os projectados, qualquer que seja a sua grandeza, podem ser medidos por um método fotográfico [3]. Neste método o modelo é fotogra-

(1) Magnel, G., «Rapport sur la recherche expérimentale des lignes d'influence relatives aux constructions hyperstatiques planes», La Technique des Travaux, Sept., 1930, Liège.

(2) Norris, C. H., «Model analysis of structures» Proc. of the Soc. for Exp. Stress Analysis, Vol. I, n.º 2, pág. 18, 1943.

(3) Rocha, M., Ferry Borges, J., «Photografic method for model analysis of structures», Proc. of the Soc. for Exp. Stress Analysis, Vol. VIII, n.º 2, pág. 129, 1951.

fado sobre a mesma chapa antes e depois de imposto um certo deslocamento (fig. 50); os deslocamentos podem ser medidos sobre a chapa com auxílio de um microscópio, ou então pode projectar-se a chapa sobre um écran onde os deslocamentos são medidos com uma régua.

Para o estudo duma estrutura linear há necessidade de obter tantas chapas quantas as linhas de influência que se deseje determinar.

Para a aplicação do método fotográfico é conveniente pintar o modelo de preto e definir os pontos cujos deslocamentos se deseja posteriormente medir por meio de marcas constituídas por traços finos brancos.

Impondo os deslocamentos com o deformador de Beggs a precisão obtida com o método fotográfico é a mesma referida para os métodos nos quais se fazem as leituras com microscópios.

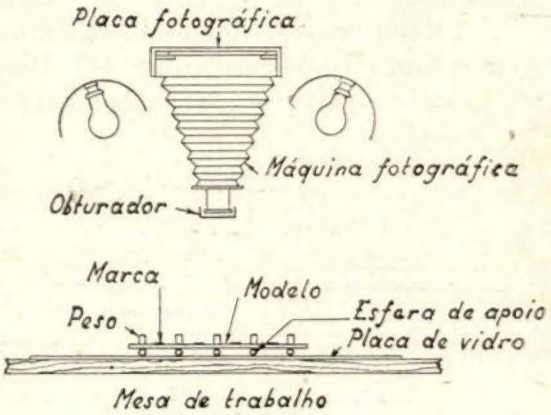


Fig. 50

Na fig. 51 vê-se uma chapa obtida no estudo de uma estrutura de um edifício; a chapa diz respeito à determinação da linha de influência do esforço normal do apoio da esquerda, podendo distinguir-se as duas imagens de algumas marcas.

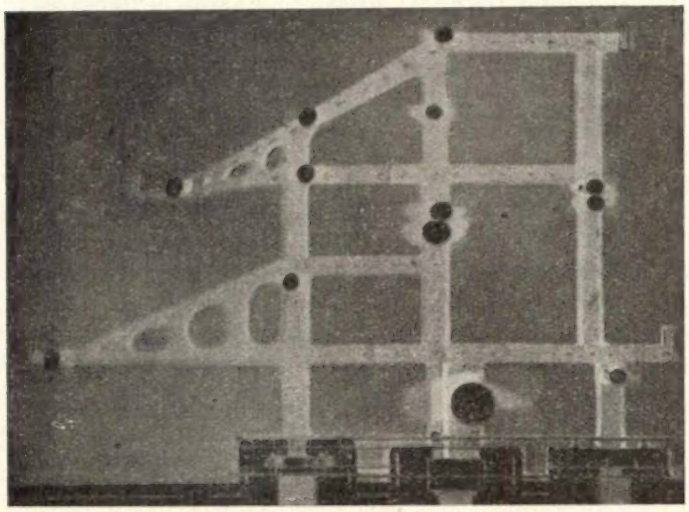


Fig. 51

Mesmo quando se impõem grandes deslocamentos ainda é cómoda a utilização do método fotográfico. Na fig. 52, pode ver-se a linha de influência da reacção de um apoio intermédio de uma viga contínua; o modelo foi pintado com traços brancos de modo a poder-se fàcilmente determinar a posição que um dado ponto foi ocupar após deformação.

O facto de as grandezas a medir ficarem registadas nas chapas permite, tal como nos métodos analíticos, que qualquer entidade verifique os resultados dos ensaios. As chapas mostram as condições em que foram realizados os ensaios, podendo revelar certas causas de erro, como imprecisão no dimensionamento dos modelos, movimentos acidentais nos encastramentos e outras ligações, funcionamento deficiente dos deformadores, etc.; esta causa do erro é muito frequente no método de Beggs no qual se têm de realizar numerosas operações de imposição de deslocamentos, mesmo quando se dispõe de vários microscópios.

O método fotográfico permite fazer as observações muito ràpidamente, já porque uma só operação de mudança de cavilhas permite registar todos os deslocamentos, já porque as medições destes podem ser feitas expeditamente a partir das chapas. Assim, por exemplo, num estudo de arcos de espessura variável, encastrados, submetidos a forças normais à fibra média, o tempo total gasto no estudo experimental (incluída a construção e montagem do modelo) [1] foi cerca de 1/4 do tempo gasto no cálculo analítico conduzido nas melhores condições.

[1] Refer. (3) da pág. 159.

63. — Além dos métodos baseados no teorema da reciprocidade numerosos outros têm sido tentados mas a sua aplicação não se tem generalizado.

Num desses métodos, [1] [2] os esforços exteriores e interiores provocados pelas forças aplicadas são medidos directamente, o que obriga para a determinação dos interiores a cortar os modelos. O método que tem muito interesse pedagógico não é expedito.

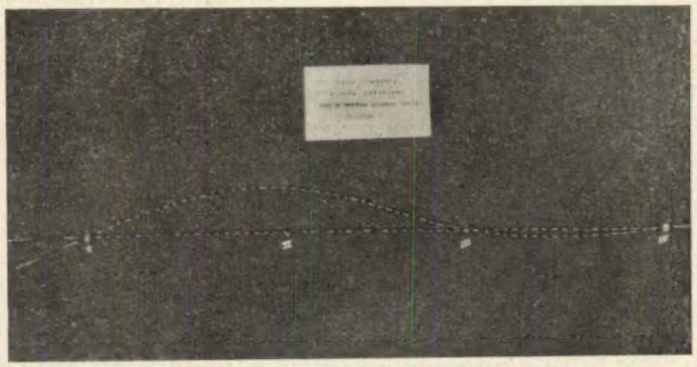


Fig. 52

Têm ainda sido desenvolvidos vários métodos nos quais os momentos flectores e esforços transversos em modelos planos são determinados, por meio de expressões da Resistência de Materiais, a partir da medição de deslocamentos e rotações dos eixos das peças. Podem usar-se modelos que permitam grandes deslocamentos, como no método de Rieckhof e de Kann [3] no qual se usam modelos de lâminas metálicas, ou modelos rígidos nos quais as medições terão de ser feitas com microscópio; em qualquer dos casos poderá recorrer-se ao método fotográfico para a medição dos deslocamentos e rotações.

Se os deslocamentos são grandes os valores das grandezas determinados são influenciados pela deformação da estrutura; se são pequenos é difícil, mesmo com técnicas muito aperfeiçoadas, medir os deslocamentos com a precisão necessária para os momentos flectores e os esforços transversos serem determinados com a aproximação correntemente exigida. Por isso tais métodos são pouco usados a não ser para demonstrações.

Nos métodos em que se recorre a modelos com grandes deslocamentos a determinação dos pontos de inflexão das peças pode fazer-se muito fàcilmente, por exemplo, com um curvímetro. Assim se fica a conhecer a posição de pontos de momento nulo o que simplifica o estudo da estrutura, podendo mesmo ser suficiente para levantar a hiperestaticidade.

Para a determinação de momentos flectores e esforços transversos em modelos com pequenas deformações foi ainda desenvolvido um aparelho designado «moment indicator» [4]. O princípio do aparelho é interessante mas não permite geralmente a determinação das grandezas com a necessária precisão.

64. — Quanto ao valor dos métodos experimentais para estudo de estruturas lineares podem tirar-se as seguintes conclusões.

Para estruturas no espaço deve recorrer-se à determinação de extensões, de preferência com extensómetros eléctricos.

Para estruturas em equilíbrio a duas dimensões, interior e exteriormente hiperestáticas, ainda a utilização dos extensómetros eléctricos se nos afigura o melhor método.

Finalmente, para estruturas em equilíbrio a duas dimensões só exteriormente hiperestáticas é aconselhável a determinação de linhas de influência a partir do teorema

---

(1) Refer. (1) da pág. 155.

(2) Cardoso, E., «A aparelhagem utilizada num método de determinação mecânica das incógnitas hiperestáticas das estruturas recticuladas», Técnica, n.º 148, Julho 1948, Lisboa.

(3) Refer. (1) da pág. 157.

(4) Ruge, A., Schmidt, E., «Mechanical structural analysis by the moment indicator», Proc. Am. Soc. Civil, Eng., Out., 1938.

da reciprocidade, impondo pequenos deslocamentos com um deformador do tipo do de Beggs e medindo os deslocamentos pelo método fotográfico.

E. — Fotoelasticidade

65. — A determinação de tensões em modelos em equilíbrio elástico a duas dimensões pode fazer-se pela fotoelasticidade [1] [2].

Em face do método geral de determinação de tensões a partir da medição de extensões a fotoelasticidade tem a vantagem de permitir fazer mais rápida e econòmicamente a determinação do campo de tensões, alcançando-se geralmente uma maior precisão. Para essa economia concorre apreciàvelmente o facto de poderem ser usados modelos com dimensões muito reduzidas.

Este facto é muito importante no estudo de concentrações de tensões as quais, para serem estudadas com extensómetros, exigem modelos com dimensões muito maiores.

Outra vantagem da fotoelasticidade consiste em ela fornecer globalmente as indicações sobre todo o campo de tensões.

A fotoelasticidade pode aplicar-se à determinação de tensões devidas ao peso próprio utilizando modelos de gelatina. Porém as aplicações têm sido muito pouco numerosas em virtude de ser difícil a preparação e a manipulação dos modelos, e ainda devido à sua excessiva deformabilidade.

A aplicação da fotoelasticidade ao estudo de equilíbrios a 3 dimensões encontra sérias dificuldades experimentais [3] [4]. Entre os métodos propostos o da fixação da birefringência de certos plásticos é o que apresenta mais interesse; recentemente o método da fixação foi aplicado à gelatina [5].

A fotoelasticidade tem um grande valor pedagógico em virtude de fornecer imagens da distribuição das tensões.

Capítulo V

CONCLUSÕES

66. Do exposto nos capítulos anteriores conclui-se que a escolha das formas e a determinação das dimensões de uma estrutura qualquer se podem fazer, por via de regra, a partir da observação de modelos.

De facto, quer se pretenda fazer um dimensionamento tendo em conta o comportamento no domínio elástico quer fora deste domínio, incluído o cálculo em relação à rotura, não é difícil, sobretudo no primeiro caso, encontrar materiais que satisfaçam às imposições da semelhança mecânica com aproximação inteiramente satisfatória; a aplicação de forças de superfície aos modelos, solicitação esta que é correntemente a mais importante, não apresenta dificuldades especiais; finalmente, a medição de deslocamentos e de extensões pode fazer-se, dada a aparelhagem de que hoje se dispõe, com elevada precisão.

Pode bem afirmar-se que um modelo, quer do ponto de vista das formas, quer dos materiais, quer ainda das solicitações que se lhe aplicam, é uma imagem mais fiel da construção do que as hipóteses de qualquer cálculo.

Tal, porém, não desvaloriza os métodos analíticos, os quais têm a grande vantagem de serem, por via de regra, de aplicação muito mais rápida e económica; além disso, não exigem meios materiais importantes e os seus resultados podem ser fàcilmente verificados.

---

(1) Coker, Filon, «A treatise on photoelasticity», Camb. Univ. Press, 1931.

(2) Frocht, «Photoelasticity», 2 vol., John Wiley and Sons, 1941, 1948.

(3) Ref. (2), vol. II, chap. 11 a 14.

(4) Rocha, «A fotoelasticidade nos equilíbrios elásticos de revolução», Técnica, Lisboa, 1941.

(5) Ref. (1) da pg. 104, do n.º 216 da «Técnica».

Mas o problema que se levanta é o da precisão dos métodos analíticos, a qual vai desde a das expressões, por vezes grosseiramente aproximadas, da Resistência de Materiais até à da Teoria da Elasticidade. Dum modo geral pode afirmar-se que actualmente, dado o conhecimento das propriedades dos materiais de construção, as possibilidades dos estaleiros, sobretudo no que diz respeito a uniformidade de fabrico, e o grau de conhecimento das solicitações actuantes nas construções, a precisão dos métodos analíticos não é satisfatória.

Como é óbvio, os métodos analíticos, que encerram afinal o saber humano que, no domínio do comportamento dos sólidos sujeitos a solicitações, pôde ser expresso quantitativamente, devem ser aplicados sempre que haja garantia de fornecerem os resultados com a aproximação exigida. Mas, correntemente, existe uma confiança excessiva na precisão dos métodos analíticos e, além disso, os calculadores estão habituados a escolher as formas ou a estabelecer as necessárias hipóteses de cálculo, por mais extraordinárias que sejam, para obrigar a cair os problemas que têm a resolver dentro do quadro das teorias de cálculo existentes. Deste esquecimento dos métodos experimentais resultam soluções geralmente pouco económicas e outras vezes mesmo inseguras.

Deve notar-se que, mesmo em casos que impõem o recurso a métodos experimentais, os métodos analíticos prestam serviços inestimáveis na fase inicial de selecção de formas e atribuição de dimensões, evitando o estudo, necessàriamente muito moroso, de grande número de modelos.

Os métodos analíticos e experimentais não devem ser postos em oposição, como por vezes há tendência, mas sim ser considerados como ferramentas a utilizar criteriosamente para a resolução do problema do dimensionamento seguro e económico das estruturas.

Para que os resultados do estudo experimental duma estrutura sejam obtidos dentro de prazos compatíveis com os destinados habitualmente à execução dos projectos, e mereçam confiança às entidades interessadas na construção, é necessário dispor de laboratórios especialmente equipados e com pessoal especializado. De facto é necessário escolher para cada caso as condições de ensaio mais adequadas, isto é, a escala, os materiais satisfazendo às condições de semelhança, o processo de construção do modelo, a técnica de aplicação de solicitações, e as técnicas de medição, o que exige pessoal experiente e meios variados.

Na maior parte dos laboratórios os estudos sobre modelos são conduzidos em condições pouco económicas, dado o pequeno número de estudos que realizam, o qual não justifica a criação de condições mais favoráveis.

Temo-nos referido à função que os modelos podem desempenhar no dimensionamento, digamos de rotina, das estruturas. Mas, além desta função, os modelos prestam serviços importantes na investigação e no ensino.

Na investigação os modelos permitem, por um lado, fazer econòmicamente a verificação de novas teorias de cálculo e, por outro lado, são uma fonte de inspiração para o aperfeiçoamento e criação de teorias de cálculo. O estabelecimento de uma teoria de cálculo é o epílogo ideal de um estudo sobre modelo.

No ensino a utilização dos métodos experimentais, sobretudo dos que utilizam grandes deformações e da fotoelasticidade, tem um valor que nunca é demais acentuar.